INSTITUTO DE INGENIEROS CIVILES DE ESPAÑA

II CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

Celebrado en Madrid durante los días
28 de mayo a 3 de junio de 1950

TOMO V

1951

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

45/154-V

R 7621

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Industrias Gráficas Magerit, S. A. - Bravo Murillo, 122. - Teléfono 33 44 29. - MADRID

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

GRUPO IV

EXPLOTACIÓN DEL SUBSUELO Y AGUAS

ACTA DE LAS SESIONES Y TRABAJOS

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

SECCIÓN ÚNICA

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

II CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA
(28 de mayo a 3 de junio de 1950)

ACTA DE LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 29 DE MAYO DE 1950

Se abre la sesión a las 10,30 de la mañana bajo la Presidencia de D. Ignacio Patac Pérez, Ingeniero de Minas, por haberse recibido telegrama del titular del ilustrísimo Sr. D. Juan Zabala Arellano, en el que excusa su asistencia. Con el Sr. Patac ocupan otros cargos en la mesa los Sres. D. José Castell Cabezón y D. Antonio Almela Samper, Ingenieros de Minas, cuyo último actúa como Secretario.

El Secretario expone el extracto del trabajo siguiente:

N.º 43.-Una nueva zona de bauxitas en la provincia de Lérida

Autores: D. JOSÉ M.ª RÍOS GARCÍA y D. ANTONIO ALMELA SAMPER
Ingenieros de Minas

Es de todos sabido el problema que a la economía nacional crea la escasa y baja calidad de las bauxitas con que, por ahora, contamos en el suelo español, tanto para la obtención de aluminio como de los cementos aluminosos, lo que obliga a importar de Francia o de otros países buenas bauxitas para mezclarlas con las nacionales, en mayor o menor proporción, o, incluso, para utilizarlas solas.

No extrañará, pues, nuestra esperanzada alegría cuando, en los primeros días del mes de marzo de 1949, en un reconocimiento geológico efectuado entre Artesa de Segre y Camarasa, encontramos en el término de Alós de Balaguer (Lérida) un extenso afloramiento de bauxitas, de cuya existencia no se tenía noticia hasta entonces.

La importancia de la masa aflorante, en disposicion, al parecer, interestratificada, y la facilidad de arranque y de transporte, nos hizo pensar que, si los análisis no nos defraudaban, se contaba allí con un tonelaje de mineral explotable, con costo relativamente reducido, que podría aminorar el problema del aluminio en España.

La noticia de nuestro hallazgo puso en movimiento el personal especializado de algunas empresas interesadas en la obtención de esta primera materia, y, así, se encontraron nuevos afloramientos de bauxita en la vertiente Sur de la sierra de San Mamet (unos 7 km. al Norte de nuestro primer hallazgo), y en la sierra de Montroig (10 km. al Oeste del mismo), además de una prolongación al Sur de las capas por nosotros descubiertas.

Esta repetición de afloramientos bauxíticos en área extensa y siempre con la misma posición estratigráfica, nos ha inducido a ampliar el estudio geológico de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

aquella zona, a fin de conocer todas las posibilidades de existencia de nuevos criaderos de dicho mineral. En las páginas que siguen exponemos, de la manera más sucinta posible, el resultado de nuestro reconocimiento geológico, que creemos puede abrir ancho campo a la prospección de bauxitas en esta nueva cuenca. Para ello damos primero unas nociones estratigráficas que sirvan para fijar el nivel en que puede encontrarse el mineral, a continuación la tectónica regional y afloramientos de los niveles que son o pueden ser bauxitíferos y, finalmente, una descripción breve de los afloramientos conocidos y las conclusiones a que llegamos en nuestro trabajo.

ESTRATIGRAFÍA

Los terrenos que afloran en esta región son: triásico, jurásico, cretáceo eoceno y oligoceno, pero de ellos los que nos interesan especialmente, desde nuestro punto de vista, son el jurásico y el cretáceo.

El triásico está representado por el Keuper, compuesto de margas y arcillas rojas, frecuentemente con yesos blancos o coloreados y calizas negras u obscuras, bien estratificadas, tableadas y fétidas. Todo ello muy trastornado y revuelto. Aparecen las calizas con violentos pliegues, en asomos aislados en medio de las margas rojas. También se encuentran, algunas veces, asomos eruptivos de ofitas. El triásico constituye una mancha bastante extensa, compuesta de las rocas enumeradas, entre Alós de Balaguer y Rubio de Abaix. Un extenso afloramiento que existe en Villanueva de la Sal, avanza hacia el Este hasta las estaciones de Santa Liña y Villanueva de la Sal, en la zona que nos interesa. Además de estos manchones, el borde frontal del manto secundario está jalonado por una serie de asomos triásicos de mayor o menor extensión, siempre muy trastornados.

En la vertiente Sur de las sierras de Montroig y San Giordi, inmediatas a Camarasa, sobre el triásico y con gran espesor y regularidad, descansa una serie de yesos blancos alternantes con calizas tableadas y carniolas, que suponemos deben representar el infralías, o más precisamente, el rético, puesto que, a su vez, esta formación soporta al liásico. Más al Este no la hemos visto, bien porque no se haya depositado, que es lo más probable, o por razones tectónicas.

Sobre la serie yesosa descansa una formación de calizas tableadas, muy finas y regularmente estratificadas, grises o amarillentas, con fauna fósil netamente liásica, y encima, otro nivel de margas y calizas margosas amarillentas, a veces, con algo de yeso fibroso, y abundante fauna liásica de Belemnites, Ammonites, Gryphaeas, Rhynchonellas y Terebratulas.

Estas margas soportan otra serie de calizas dolomíticas, obscuras, rojizas, feas y mal estratificadas, en las que no hemos encontrado restos clasificables, pero que pueden representar el jurásico medio. Llegan a tener, en la sierra de Montroig, más de 50 ms. de potencia, y son para nosotros de gran interés porque constituyen el muro de las bauxitas.

A continuación existe un gran hiato estratigráfico y la serie cretácea se inicia por un tramo de arenas blancas o vinosas con abundante gravilla de cuarzo y algunas margas rojas, con el mismo aspecto del albense de Soria y de Teruel. Sin embargo, creemos que esta formación debe ser ya senonense, porque, como veremos a continuación, viene recubierta en forma concordante y tránsito gradual, pero rápido, por una potente serie de calizas consideradas como campanienses.

En la base de estas arenas es donde hemos visto todas las mineralizaciones de bauxita, que tienen como muro las calizas jurásicas y como techo esta formación. Su facies de arenas y gravas es tan característica y llamativa, que constituye excelente guía para todas las investigaciones que hayan de realizarse en el futuro en esta zona.

Las arenas y gravillas blancas soportan unos niveles de areniscas bastas de color amarillo o rojizo, que atribuímos al santoniense, y sobre ellas descansa una serie potente de calizas rojizas o grises, generalmente bien estratificadas y bastante fosilíferas, que contienen, en especial, Hippurites y Radiolites, y que atribuímos al campaniense. Este nivel forma la parte alta de las sierras que aparecen en ambas orillas del Segre y del Noguera.

En la depresión de la sierra de Boada, la serie estratigráfica se continúa aún algo más, y sobre las calizas campanienses se encuentra el maestrichtiense formado por un nivel muy notorio de areniscas amarillas que pasan a conglomeradillos, y sobre estas areniscas descansa el garumnense, compuesto de margas y arcillas abigarradas, de colores vivos, con un nivel intercalado de caliza gris de grano fino. El conjunto está

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

coronado por calizas del eoceno, que son duras y compactas, claras y en bancadas regulares, con Alveolinas y, aún más arriba, por eoceno con facies del Flysch.

Para completar el cuadro estratigráfico de esta zona debemos citar el oligoceno, constituído por conglomerados marginales compuestos de cantos rodados secundario-eocenos, que se extienden al Norte de Alós de Balaguer, hasta Masana, y la facies normal oligocena, de areniscas y margas rojizas, con yesos, que limitan por el Sur y el Este las manchas cretáceo-eocenas de ambos lados del Segre.

TECTÓNICA

El levantamiento de edad pirenaica, que tan profundas huellas ha dejado en el Nordeste de España, motivó en nuestra zona a un empuje dirigido hacia el Sur, mediante el cual, la serie sedimentaria, compuesta por el secundario y el eoceno, resbaló sobre el substratum rígido paleozóico. Este resbalamiento se produjo merced al carácter lubrificante de las margas y yesos del Keuper, produciéndose una serie de accidentes de cobertura, no excesivamente violentos, que contrasta con el aspecto atormentado y caótico que presenta el Keuper, arrollado y revuelto por el arrastre, sobre él, de los niveles suprayacentes.

A estos empujes se debe el anticlinal volcado al Sur y roto de la majestuosa sierra del Montsech, el anticlinal menos violento de la sierra de San Mamet y la zona frontal de trastornos que se extiende al Sur y Este de esta sierra y que forma como un mosaico de retazos más o menos incoherentes, flotantes sobre el triásico.

Esta última parte es la que muestra las mineralizaciones halladas y, por lo tanto, concentraremos nuestra atención en ella.

Las sierras de Montroig, San Giordi y Boada, que constituyen la zona más interesante, no aparecen con trastornos demasiado violentos, lo que es una gran ventaja para la busca de posibles mineralizaciones, pero ofrecen accidentes curiosos por su anormal orientación.

La sierra de Boada forma sinclinal violento, cuyo eje se orienta próximamente N.-S. y que afecta a toda la serie, desde el liásico hasta el eoceno inferior. Hacia el Oeste, sigue a este sinclinal un anticlinal de la misma orientación, volcado hacia el Este sobre él. En el eje asoman las calizas del jurásico.

Continuando hacia el Oeste, la sierra de San Giordi forma otra nueva cubeta, más suave que la anterior, seguida por un suave anticlinal cuyo eje va por el barranco de Castellar y, luego, por el último tramo del Segre, antes de la confluencia con el Noguera. Así, pues, este nuevo anticlinal tiene orientación media NE.-SE., y, finalmente, la sierra de Montroig se orienta sensiblemente E.-O. formando, primero, un suave sinclinal que llega hasta el meridiano de la cumbre de la sierra y que, a partir de aquí, hacia el Oeste, se transforma en monoclinal con buzamiento al Norte.

Esta disposición de los accidentes tectónicos es un poco extraña, por cuanto los trastornos se orientan normalmente E.-O. La orientación N.-S. puede ser debida, bien a un plegamiento previo de dirección normal (fenómeno ya observado por nosotros más al Oeste, en la provincia de Huesca) o a alguna resistencia anormal que ha producido una componente, también anormal, del esfuerzo.

Por el Este, pasada la gran mancha de Keuper con retazos cretáceos, que ocupa la zona de Alós y los Rubiós, reaparece una serie monoclinal cretáceo-eocena, con varias inflexiones, que se extiende por la sierra Carbonera hasta el pico Munt, cerca de Foradada y que se sumerge hacia el Este bajo el oligoceno de Baldomá y Artesa.

Por último, al Norte de Baldomá reaparece de nuevo, entre el oligoceno, el secundario, compuesto de Keuper y un retazo cretáceo, y, más al Este, en la sierra de Sant Armengol, se presenta de nuevo el cretáceo en mancha más extensa, dispuesta en amplia media cúpula, rodeada por todas partes por el oligoceno.

Además de los accidentes a que hemos pasado breve revista, existen en la zona dos asomos diapíricos en Artesa y Montmagastre, y otros afloramientos y roturas que no interesan desde nuestro punto de vista, por lo que no los describimos aquí.

AFLORAMIENTOS DE BAUXITA

Fuente de la Forradella.

Conocidos por nosotros de antiguo los diversos yacimientos de bauxitas existentes en la provincia de Lé-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

rida, y vista la similitud de aquellas formaciones y las aquí existentes, nos dedicamos con cuidado a reconocer los afloramientos de las rocas que normalmente acompañan a las bauxitas y tuvimos la suerte de dar con el primer y más importante afloramiento de bauxitas de los hasta ahora conocidos en esta nueva cuenca.

Se encuentra éste cerca del río Segre e inmediato a la fuente de la Forradella, existente en el término de Alós de Balaguer, en el camino de este pueblo a Cubells y a unos 1.500 ms. del primer pueblo hacia el Sur.

Aparece aquí la serie normal secundaria, con gran regularidad y sin trastorno alguno, orientadas las capas aproximadamente N.-S. y con buzamientos al Oeste que oscilan entre 45° y 75°. De Este a Oeste se encuentra, primero, el Keuper con sus margas rojas y yesos; a continuación, calizas tableadas y margas del liásico con fauna bastante abundante y, sobre éstas, las calizas dolomíticas del jurásico medio, que por su mayor dureza determinan en el terreno una serreta o crestón que baja hacia el Norte en dirección al Segre.

Entre estas calizas y las del cretáceo superior, situadas al Oeste y ambas bastante duras, se disponen las arenas y gravas de facies albense y las areniscas bastas superiores a ellas; materiales todos ellos blandos, lo que da lugar a la formación de un barranquillo que se encamina hacia el Norte y que conduce al Segre el pequeño caudal alumbrado por la fuente de la Forradella, que nace en su fondo, junto a las calizas dolomíticas del jurásico.

En el contacto de éstas con las arenas cretáceas se encuentra la bauxita, que aflora en la misma fuente y que se sigue sin interrupción hacia el Sur, barranco arriba, en un recorrido mínimo de 500 ms. Aguas abajo de la fuente aparece también la bauxita, pero en recorrido más pequeño, porque pronto una falla pone en contacto las calizas jurásicas y las arenas con las margas del Keuper que interrumpen aquellas formaciones antes de llegar al río.

Continuando más al Sur, las arenas, así como las bauxitas, se acuñan antes de llegar a la colladita, origen del barranco; pero 100 ms. más al Sur de aquél se encuentra un nuevo asomo, muy pequeño, de bauxita.

El afloramiento que desde la fuente se extiende hacia el Sur es el más llamativo e interesante, pues, como hemos dicho, tiene una corrida mineralizada en superficie no menor de 500 ms., con potencia de bauxita que oscila entre 8 y 14 ms. Como el desnivel entre los dos puntos más distantes mineralizados es superior a 100 ms., no es aventurado suponer que existe un mínimo de mineral a la vista de 600.000 tns., de las cuales, teniendo en cuenta la variabilidad de análisis, cabe suponer sean explotables de 200.000 a 400.000 toneladas, esto sin tener en cuenta la posible y aún probable prolongación en profundidad del yacimiento, fundada en las razones que más adelante expondremos, y basada toda esta valoración en los cálculos más conservadores.

Las bauxitas de este afloramiento son del tipo corriente en otros yacimientos de la provincia, rojas y pisolíticas o blancas. Hemos efectuado un minucioso desmuestre todo a lo largo del yacimiento analizando cuidadosamente las muestras, y a continuación expondremos los resultados obtenidos:

SiO_2	Al_2O_3	Fe^2O_3	TiO_2	CaO	Pérdida al fuego
4,5	47	33,9	3,6	—	11
4,9	48,4	32,0	3,4	0,2	11,1
5,7	44,7	35,4	3,3	—	10,4
6,7	50,4	27,2	3,1	1,1	11,5
7,4	38,17	40,33	4	—	10,6
10,18	36,45	24,35	2,7	9,50	16

Téngase en cuenta que, por no existir aún labores de investigación profunda, todos estos análisis se refieren a muestras de superficie más alteradas y meteorizadas, y esperamos fundadamente que, como suele ocurrir en esta clase y tipo de criaderos, las calidades mejoren en profundidad.

Otros afloramientos de bauxita.

Conocido que fué este llamativo yacimiento, distintas personas se dedicaron a la búsqueda de nuevas manifestaciones de este mineral y, en efecto, se localizaron varios que a continuación describimos.

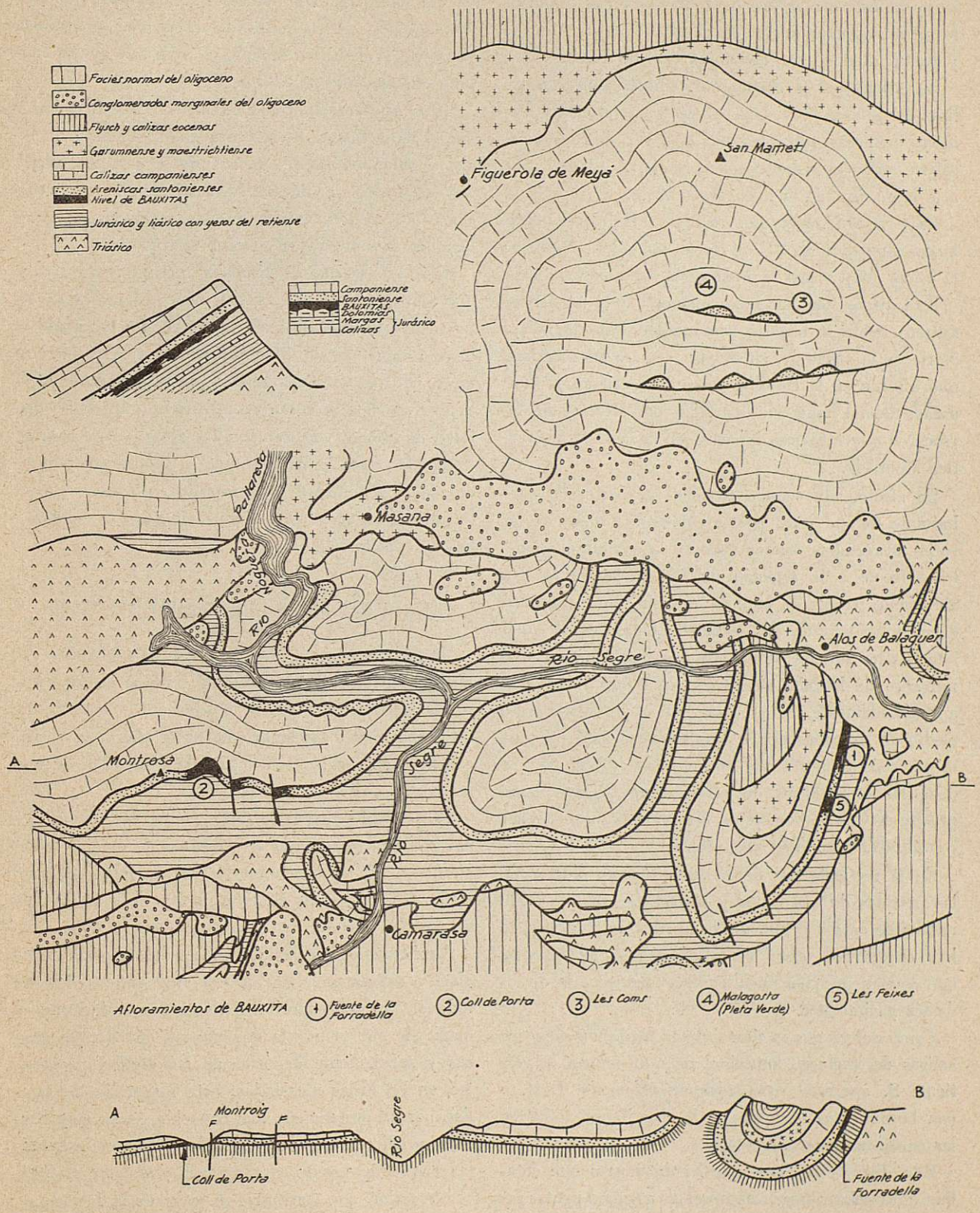
En el camino de Les Feixes o Sales, como a unos 1.500 ms. al Sur de la fuente de la Forradella, se encuentran dos asomos de bauxita, de dimensiones más bien reducidas, en la prolongación de las capas de la fuente y en disposición idéntica a la que allí tienen, por lo que consideramos estos afloramientos prolongación de aquéllos y no nos detenemos en su descripción.

A unos 10 km. al Oeste de estos yacimientos de bau-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

MAPA DE LA ZONA DE BAUXITAS DE ALÓS DE BALAGUER-CAMARASA (LÉRIDA)

SEGÚN DATOS ORIGINALES SIMPLIFICADOS DE LOS SRS. D. JOSE Mª RIOS Y D. ANTONIO ALMELA, INGENIEROS DE MINAS 1950



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

xita, se encuentra otro afloramiento bastante pequeño, en lo alto de la sierra de Montroig, en el collado que existe al Este del vértice de cota 950, en el límite de los términos municipales de San Lorenzo de Mongay y Santa Liña, que se denomina Coll de Porta.

Estas bauxitas se encuentran también sobre las calizas del jurásico y vienen cubiertas por arenas y areniscas cretáceas, sobre las que, a su vez, descansan las calizas senonenses que coronan la sierra y que corren a lo largo de toda la línea de cumbres.

La serie es también muy regular, y las capas calizas buzan alrededor de 20° al Norte. La ladera Norte de la sierra adopta casi la misma pendiente de las capas.

Esta disposición nos hizo suponer que el nivel bauxitífero debía ir a poca profundidad bajo la ladera Norte de la sierra, y, en el caso de que las bauxitas, que afloran en la cumbre, se continuaran en profundidad, debían haber sido cortadas por el túnel del ferrocarril que atraviesa la sierra en la vertical del vértice Montroig.

En efecto, aun cuando el túnel fué perforado hace bastante tiempo y no hemos conseguido datos de las rocas atravesadas, hemos visto en la escombrera existente frente a la estación de Villanueva de la Sal, abundantes trozos de bauxita que, sin duda, proceden de un nivel cortado por el túnel. El dato es de sumo interés para futuras investigaciones, pues como el afloramiento de bauxita está en la cota 820 y el túnel, aproximadamente, en la cota 350 y con buzamiento medio de las capas de 20°, las bauxitas de lo alto de la sierra continúan a una profundidad de 450 ms. y a distancia de 1.500 ms. del afloramiento. Es esto, pues, prueba de que los lentejones de bauxitas pueden tener continuidad grande en profundidad.

En la vertiente Sur de la sierra de San Mamet, en las partidas de Les Coms y Malagostá, a unos 1.000 metros de cota y 6 km. al N. de Alós de Balaguer, se han encontrado otros dos afloramientos de bauxitas que ocupan posición estratigráfica idéntica a la de los demás yacimientos.

Como quiera que la sierra citada forma un domo de calizas del cretáceo superior, las que ocupan la vertiente S. aparecen orientadas sensiblemente E.-O. y con buzamientos variables al S. que llegan a 30° en las capas más meridionales.

Esta disposición hace que los barrancos que entallan estas calizas hagan aparecer en algunos puntos las areniscas existentes bajo las calizas, y, tanto en Les Coms como en Malagostá, afloran bolsadas de bauxita que yacen bajo las areniscas. El fenómeno viene facilitado por varias fallas de dirección aproximada O.-N.-O., E.-S.-E., en las que el labio Sur queda hundido en relación con el superior.

Estos afloramientos de bauxita son menos extensos que el de la Fuente de la Forradella y, además, su posición tectónica hace que, cuando se intenten explotar, sea preciso arrancar al mismo tiempo las areniscas superyacentes, con lo que se aumentaría el volumen de escombro que precisa mover.

Si a esto se une la distancia relativamente grande que los separa de la carretera más próxima y la diferencia de cota (unos 600 ms.), resulta mermado el interés industrial de estos afloramientos, que, no obstante, podrían ser explotables si reconocimientos efectuados en ellos pusieran de manifiesto cantidad y calidad de mineral que compensara estos inconvenientes.

En todo caso, es muy grande su interés como indicio de la posibilidad de encontrar en el mismo nivel estratigráfico otros yacimientos en mejores condiciones de explotación.

CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO BAUXÍTICO

Vemos, pues, según los datos que se acaban de exponer, que los afloramientos de bauxita descubiertos se encuentran todos en un mismo nivel estratigráfico y obedecen a las leyes que, hasta ahora, se vienen considerando como ciertas para la formación de este mineral.

La bauxita, según los actuales conocimientos, se forma por descomposición de calizas o de dolomías, expuestas a los agentes atmosféricos durante largo período de tiempo, en clima cálido y de grandes lluvias.

Aquí tenemos la caliza dolomítica del jurásico, emergida y expuestas a los agentes atmosféricos durante todo el jurásico superior y el cretáceo inferior y el medio, lo que motiva la descomposición de estas calizas y subsiguiente depósito de las arcillas resultantes, en las zonas más bajas. Esta formación de arcillas, por un proceso aún mal conocido, se ha empobrecido en sílice, dando lugar a la formación de la bauxita, sobre la que se ha depositado directamente el cretáceo superior, que constituye el techo de la formación.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Así, pues, los distintos afloramientos descritos delimitan un área en la que, lógicamente, deben repetirse las mineralizaciones de bauxita, allí donde se reproduzca la serie geológica, con las mismas características.

Vemos, por el mapa geológico y el corte adjuntos, que desde la sierra de Montroig a la de Sant Armengol, la tectónica no es excesivamente violenta, y que el contacto entre el jurásico y las arenas cretáceas se puede seguir en líneas sinuosas, pero sin solución de continuidad, a lo largo de docenas de kilómetros, siempre al pie de escarpadas laderas, disposición que puede ser causa de que los derrubios oculten el contacto jurásico-cretáceo y, con él, posibles afloramientos de bauxita.

En zonas de mayor trastorno, como son las sierras Mosquera y de Sant Armengol, afloran las arenas, aunque no el jurásico infrayacente, pero es lógico suponer que éste existe, si bien debe quedar oculto por los trastornos y, en consecuencia, es recomendable buscar este contacto y ver si en él existe mineralización de bauxita.

La importancia de este nuevo campo bauxitífero es innegable por varias razones. La primera y principal, que no se conocía en España, hasta ahora, afloramiento de bauxita de tanta extensión y potencia, lo que permite cubicar sin necesidad de labores de investigación un tonelaje importante de mineral. Si a esto añadimos la suposición lógica de la continuación de las bauxitas en profundidad, deducida del hecho de haber cortado el túnel del F. C. el mineral a más de 400 ms. de profundidad del afloramiento, cabe esperar en esta zona grandes cubicaciones de este interesante mineral.

A estos hechos viene a unirse la circunstancia de que las capas están relativamente poco trastornadas y que pueden seguirse en muchos kilómetros los niveles del techo y muro de las bauxitas que pueden contener mineralizaciones de interés en muchos sitios.

Por último, la situación geográfica es muy ventajosa, pues la altitud no pasa de 800 ms., con lo que se eliminan las posibles interrupciones del trabajo por causa de la nieve, y la distancia por carretera a la estación del F. C. más próxima no excede de 25 kms. desde el pie de la mina. Existe tupida red de caminos de modo que, para llegar por carretera hasta cualquier punto de la zona, haría falta tan sólo construir ramales que en ningún caso llegarían a 4 kms. de longitud. En la zona de la sierra de Montroig, las circunstancias son especialmente favorables, pues podría cargarse en bocamina, directamentete sobre vagón de F. C., a menos de 300 ms. de la estación de Villanueva de la Sal.

RELACIÓN CON OTROS CAMPOS BAUXÍTICOS

Las condiciones de yacimiento de la bauxita de la zona de Alós-Camarasa, son las mismas que las de los otros dos campos conocidos de la provincia de Lérida: el de Peramola y el de Aliñá-Tuxent. Ambos ocupan posición tectónica análoga a la ya descrita y se disponen, en relación con los nuevos descubrimientos, sensiblemente en alineación NE.-SO., y a distancias respectivas de 30 y 60 kms. al NE.

Todos estos yacimientos, cuyo detallado estudio puede verse en el trabajo del P. Bataller titulado «Las bauxitas del Pirineo de Lérida», ocupan el mismo nivel estratigráfico descrito. La bauxita tiene por muro la caliza dolomítica del jurásico y por techo el cretáceo superior, pero las capas están mucho más trastornadas y rotas, lo que hace imposible seguir los afloramientos en largos recorridos.

Por otra parte, la situación geográfica de estas otras zonas es mucho peor, con cotas más elevadas, y exigen grandes recorridos por carreteras e incluso pistas hasta colocar el mineral sobre vagón de F. C.

En cuanto a la otra zona bauxítica conocida en Cataluña, la de La Llacuna, estudiada por D. Primitivo Hernández Sampelayo en su trabajo «Condiciones geológicas de los yacimientos catalanes de bauxita», corresponde a horizonte diferente y se presenta en bolsadas, más bien reducidas y sin posible continuación en profundidad, lo que hace que el porvenir de este campo sea muy incierto, no obstante su proximidad a los centros de consumo y consiguiente economía de transporte.

RESUMEN

En la zona Alós de Balaguer-Camarasa existe un nuevo campo bauxítico, que era desconocido y ofrece varios afloramientos, uno de ellos en la Fuente de la

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Forradella, de extensión y cubicación superiores a los hasta ahora conocidos.

Cabe suponer, con fundamento, que la bauxita continúa en profundidad, puesto que el túnel que atraviesa la sierra de Montroig corta en profundidad unas bauxitas que afloran en lo alto de la sierra.

Todas las bauxitas aparecen en el mismo nivel estratigráfico, sobre la caliza dolomítica jurásica y bajo las arenas cretáceas, posición análoga a la de las bauxitas de Peramola y Aliña-Tuxent.

Las capas están poco trastornadas y la zona de contacto jurásico-cretáceo, que es la que lleva la bauxita, aflora en muchos kilómetros a ambos lados del Segre y del Noguera, en la zona de su confluencia.

La situación geográfica de este campo es inmejorable, pues permite transporte barato hasta el F. C. y, en algún caso, nulo.

Existe ya gran cantidad de bauxita descubierta, y hay la posibilidad de encontrar yacimientos aún mayores, lo que aconseja reconocimiento sistemático del nivel bauxífero, que podía poner al descubierto cantidades y calidades de bauxita que permitieran resolver autárquicamente el problema del aluminio en España.

Madrid, enero de 1950

Terminada la exposición y tras breve intervención de los Sres. Meseguer y Moreno Pascuau, quienes pidieron aclaraciones sobre las características de las nuevas bauxitas, el Sr. Kindelán hace notar la importancia que tiene el descubrimiento de los Sres. Ríos y Almela, puesto que amplía notablemente la zona bauxitífera de la provincia de Lérida y después de una intervención del Sr. Balzola, el Sr. Moreno Pasquau propone se solicite de los Poderes Públicos estímulo y ayuda para proseguir las investigaciones de bauxita de tantísimo interés para la economía nacional.

A continuación, D. Serafín de la Concha y Ballesteros lee su trabajo núm. 46, siguiente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.º 46. - ¿Nacionalización de las minas?

Autor: D. SERAFÍN DE LA CONCHA BALLESTEROS
Ingeniero de Minas

Consideramos el tema exclusivamente desde el punto de vista profesional, en el que la palabra rendimiento, aplicada al mejor aprovechamiento de las riquezas naturales y a su explotación, dentro de costes viables, pasa a primer plano.

La Minería en sus tres fases, investigación, preparación y explotación, ofrece características notorias que la apartan de las demás industrias.

Por una parte, sabido es su aspecto aleatorio, sobre todo, en su primera fase, o de investigación, que sólo induce a emprender un negocio de este tipo si los resultados, las más de las veces en puro fracaso, son, en caso de buen éxito, mucho más remuneradores que otros de tipo corriente.

Por otra parte, carece de flexibilidad, para amoldarse a las variaciones del mercado libre o a las impuestas por la intervención estatal. No puede variar su fabricación en atención a que tenga mejor salida determinado producto que otro, y, en general, y especialmente en la minería metálica, no tiene contacto directo con el consumidor, sino a través de otra industria, las más de las veces de intereses antagónicos, cual es la del fundidor.

Consecuencia de estas características es que, si a la iniciativa privada dedicada a la Minería se le aumenta sus obligaciones y se le merman las ocasiones de aprovechar buenas coyunturas, deben concedérsele otras ventajas o contar con su paulatina debilitación, caso que debe prever el Estado y ponerse en condiciones de substituirla, ya que proclama a la Minería (1) como «una de las riquezas fundamentales de España, base obligada de todo desarrollo industrial y elemento primordial de la defensa de la Nación.

A.—EL TRABAJO PRIVADO Y LA LEGISLACIÓN FUNDAMENTAL.

Según la vigente Ley de Minas y su Reglamento (2), dentro de un plazo de 60 días de la petición de una mina deberá presentarse una Memoria con el plan de investigación que la Jefatura de Minas del Distrito puede aprobar o modificar. Además, queda el solicitante obligado a aquellas modificaciones y a empezar los trabajos dentro de los seis meses; trabajo que no podrá interrumpir ni alterar sin previa autorización de la Jefatura.

Por razones de interés nacional y a iniciativa del Instituto Geológico y Minero, de algunos de los organismos paraestatales que desempeñen funciones relacionadas con la Minería o del Jefe del Distrito, po-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

drá obligar el Estado al titular del permiso de investigación a que amplíe sus trabajos para investigar otra substancia distinta de la concedida, y, si no lo acepta o los trabajos son incompatibles, se declara la caducidad de la concesión, indemnizando al propietario, en lo que tase la Jefatura, los gastos efectuados.

Convertido el permiso de investigación en concesión de explotación deberá presentarse el correspondiente proyecto general de explotación, que será aprobado, en su caso, por el Estado, con las condiciones especiales que estime oportunas, y, asimismo, deberá presentarse un plan de labores anual que, informado por la Jefatura, será sometido a la aprobación del Consejo de Minería. Los titulares quedan obligados a mantener los trabajos en actividad, proporcionada en métodos técnicos y económicos, a la importancia de los yacimientos. Será la Jefatura de Minas del Distrito la que podrá autorizar suspensiones temporales, justificadas por causas de fuerza mayor, y durante las cuales habrán de mantenerse los trabajos de conservación, vigilancia, ventilación y desagüe.

En el caso de que se autorice el abandono del laboreo con las condiciones previas que estime la Jefatura, podrá el titular del permiso de investigación o concesionario disponer libremente de la maquinaria e instalaciones de su propiedad. Sin embargo, cuando el desmontaje de éstas pudiera perjudicar el aprovechamiento del criadero en su propia concesión o en concesiones ajenas, el Estado podrá prohibirlo en tanto la Jefatura de Minas no emita su informe favorable. En tanto se cumplan las condiciones generales de la Ley y las especiales que consten en el título de concesión, permanecerán vigentes las concesiones otorgadas para la explotación de substancias minerales.

B.—OTRAS DISPOSICIONES OFICIALES QUE AFECTAN AL TRABAJO PRIVADO.

Con independencia de los preceptos de nuestra legislación minera y dictadas las más de las veces por organismos ajenos a los Servicios de Minas, existen disposiciones sobre intervención de casi todos los minerales en lo que se refiere a su distribución, precio, prohibición de exportación u obligación de exportar a un cambio de divisas determinado, con criterio no reglamentado.

Están, asimismo, intervenidos por el Estado los suministros de los principales materiales básicos para las explotaciones mineras, como la energía eléctrica, el carbón «gas-oil», hierro y cemento. En cuanto a la mano de obra, fija las remuneraciones con criterio del Ramo de Trabajo sin conexión con el de Industria, e igualmente les son de aplicación disposiciones de carácter social, con las que se le puede obligar (3) al minero a continuar sus labores aún comprobada en la investigación la no existencia de mineral explotable. No queda otro recurso que ante la Dirección General de Trabajo, «a la que informará el Ministerio de Industria y Comercio».

La obligación de investigar toda petición de minas aparece como pleno acierto de la nueva legislación, aunque debiera extenderse a las concesiones antiguas, a las que, con el mismo criterio, no vemos razón para no exigirles ni la comprobación de la existencia del mineral por el que se concedieron. Ahora bien, esta obligación, así como la de mantener los trabajos en actividad en la fase de explotación, con la aprobación estatal de los planes de labores, debe llevar consigo la concesión automática de los materiales intervenidos por el Estado, indispensables para su ejecución. No parece lógico que el Estado, en uno de sus Servicios, el de Minas, autorice y obligue a hacer una galería y, por otra parte, el propio Estado, en otro de sus Servicios, no le facilite el carril y la tubería que tiene intervenidos. Si es que hay otras necesidades más importantes en la Nación que la mina en cuestión, oblígueseles a aquéllas a mantenerse en actividad, y no a la mina.

La incertidumbre sobre los resultados intrínsecos de las investigaciones mineras y sobre las fluctuaciones del mercado de los metales se aumenta con la que imponga el Estado sobre precios, equivalencia de nuestra moneda en el comercio internacional y elementos que componen el coste de producción. En algunas industrias (4) se ha establecido, muy justamente, que la modificación de estos elementos sea en mano de obra o en materiales, lo que repercute automáticamente, en virtud de coeficientes previamente fijados, en el precio de venta, lo que debiera extenderse a todas las demás industrias. Ello tiene más importancia para la Minería, puesto que en los productos in-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dustriales se consigue mucho más fácilmente una revisión oficial de precios, ya que éstos se fijan a base de «escandallos», con un beneficio industrial reconocido y proporcional a los costes. Otra diferencia es que el fabricante vende oficialmente en fábrica, y el minero no en mina, sino que debe poner por su cuenta y riesgo el mineral en fundición, y, mientras aquél puede ser almacenista, teniendo por este simple concepto un tanto por ciento oficial reconocido, el minero no puede serlo.

Fenómeno de carácter mundial ha sido el de, en épocas de avidez del mercado consumidor, rebajar la calidad del producto en aras de mayor producción y mayor beneficio. También esta ventaja está cerrada a la minería metálica, pues la calidad queda sujeta a unas normas inmutables determinadas por los desmuestres y análisis, sobre pesos netos, descontada la humedad.

Por otra parte, las garantías al minero que se señalan en el último párrafo del apartado (A) resultan insuficientes para el propio Estado, y así se ve obligado a incautarse (5) o expropiar (6) y (7) concesiones mineras en razón de utilidad pública y para el desarrollo de sus planes industriales. Hacemos referencia a continuación a una insignificante ventaja que concede el vigente Reglamento de Minas, solamente por el pésimo efecto que hace su incumplimiento, precisamente al iniciarse un expediente de petición de una mina. Según el citado Reglamento, será gratuita la inserción de anuncios en el *B. O. del Estado* y de las provincias que haya de hacerse, conforme a lo dispuesto. Sin embargo, las Diputaciones Provinciales, con su amenaza del cobro ejecutivo y contra el dictamen de las respectivas Jefaturas de Minas que ordenan la inserción, obligan a pagarlos.

C.—EL TRABAJO ESTATAL Y LA LEGISLACIÓN FUNDAMENTAL.

Según la vigente Ley de Minas y su Reglamento, incumbe al Estado, a través del Instituto Geológico y Minero, formular los planes generales de investigación de minerales con arreglo al interés o a las necesidades nacionales. El Ministerio de Industria y Comercio, previo informe del Consejo de Minería, aceptará, modificará o rechazará la propuesta, y, en este último caso, el Instituto someterá otra nueva al Ministerio con sujeción a las normas que éste hubiese señalado, quien, una vez aprobados los planes, podrá disponer que se realicen con el ritmo que permitan las consignaciones presupuestarias, bien por Administración, bien por contrata o encomendándolas a entidades de carácter público o privado.

El Estado podrá reservarse zonas de terreno de cualquier extensión donde exista o se suponga la existencia de substancias de interés especial para la economía y defensa nacionales, suspendiendo en ellas el derecho a solicitar permisos de investigación.

La explotación de minas reservadas por el Estado podrá hacerse directamente por éste o a través de empresas autónomas de carácter estatal o mixtas —en consorcio con entidades o particulares—, dependientes o no del Instituto Nacional de Industria o por este mismo. Excepcionalmente podrá cederse la explotación en arriendo a quien mejor garantice su aprovechamiento en favor del interés nacional.

D.—OTRAS DISPOSICIONES OFICIALES QUE AFECTAN AL TRABAJO ESTATAL.

Como no es nuestra intención hacer una recopilación legislativa, sino recoger las disposiciones características del trabajo privado y estatal, nos referiremos aquí tan sólo a las ventajas concedidas a una empresa-tipo, de intervención estatal absoluta, y éstas son (8): Las ventajas y garantías que establece la Ley de 24 de octubre de 1939; todas las demás que, en aplicación de disposiciones vigentes, sea conveniente utilizar para facilitar, en los aspectos mineros, industriales y de todo orden, el mejor y más rápido cumplimiento de la finalidad que persigue y las particulares que al Instituto Nacional de Industria correspondan, en virtud de la Ley de su creación y disposiciones concordantes (9). Exención total de los derechos arancelarios para la exportación de maquinaria y equipo necesario para su misión específica. Reducción del 50 % de la contribución de Usos y Consumos para la maquinaria y equipo importado, con exención de derecho arancelario. Reducción del 50 % en las cuotas de las tarifas tercera de la Contribución sobre Utilidades de la riqueza mobiliaria y de las segunda de dicha Contribución e Impuesto sobre Negociación de valores mobiliarios, en cuanto afecte a las acciones propiedad del Instituto Nacional de In-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dustria, de impuesto sobre emisión de valores mobiliarios y de los impuestos de derechos reales y timbre, en cuanto afecten a todos los actos y contratos en que aparezca la Empresa obligada al pago de los mismos.

Al ambicioso propósito de desarrollar el Estado los planes generales de investigación corresponden, en la práctica, unos medios que no alcanzan ni para sus zonas reservadas; tanto es así, que en su casi totalidad, si se les hubiesen aplicado las mismas obligaciones que a las minas particulares, o sea, trabajo ininterrumpido, sujeción a un plan, proporción de los medios empleados al criadero que se trata de investigar o de explotar estarían caducadas, es decir, serían zonas libres.

En las reservas debe distinguirse la de los minerales cuyo monopolio interese al Estado de la de los terrenos en que sea probable su existencia. A la confusión de estos conceptos en la Ley se debe el poco efecto práctico en proporción a su extensión, con el considerable perjuicio en contrapartida para el propio Estado y al particular, sea en cuanto cercena su iniciativa sobre el mineral en cuestión, sea al recargar notablemente las tramitaciones oficiales, sin ventaja para nadie.

A este respecto, y sólo a título de comprobación de la inexperiencia de nuestra legislación, cabe consignar que, al suspender en el año 1942 en toda España (10) los registros de una substancia y convertida en reserva dicha suspensión, eran precisos en todas las peticiones de minas los informes del Instituto Geológico y Minero y del Consejo de Minería de que sus trabajos no afectasen a los de la substancia en cuestión. Para evitarlo se dictó, en el mismo año, una disposición (11) para que en todos los expedientes de registros mineros se hiciese constar en el acta de la demarcación, si existen en el terreno de la mina o en sus inmediatas proximidades, las rocas objeto de la reserva, y que, en caso negativo, se hiciera la tramitación ordinaria del expediente. Decía el *B. O.* que las otras prescripciones «complican y prolongan la ya larga tramitación normal de los expedientes de registro, en la que tantos requisitos hay que cumplir y tantos plazos han de guardarse», y añadía, «la complicación de los expedientes carecería de objeto útil alguno en la generalidad de los casos». Anulada esta disposición en virtud de la nueva Ley, y puestas en vigor otra vez estas prescripciones, se complican y prolongan todos los expedientes con informes que, afortunadamente para los presupuestos del Estado, se hacen de manera formularia.

En cuanto a las ventajas que anotamos en el apartado D) para una empresa tipo de intervención estatal absoluta, advertimos que dicha empresa se dedica a la investigación y explotación de un mineral no declarado de interés nacional o militar, y cuyo laboreo cuenta con gran tradición en el país. Si muy plausibles son todas estas ventajas, no hay razón para no extenderlas a todas las empresas de carácter privado que se constituyan con el mismo objeto de investigar y explotar otros criaderos.

Consideradas separadamente las obligaciones del trabajo particular y del estatal se observa, al hacerlo conjuntamente, su falta de correlación, con evidente perjuicio para el máximo aprovechamiento de los recursos mineros.

No nos ofrece duda alguna que la nacionalización de la investigación es impracticable mientras los métodos de prospección no consigan gran adelanto sobre los más modernos conocidos, en los que queda todavía un gran margen de incertidumbre, y que la iniciativa privada, que muchas veces parte de un hallazgo casual o del instinto, a su costa, es, hoy por hoy, insubstituible. Tampoco nos ofrece dudas el que fuera de ella quedan problemas generales y particulares que, por su importancia o por las enseñanzas que sin lucro inmediato pueden de ellos derivarse, sólo puede atacarlos el Estado. Ello hace necesaria la obligación formal por parte del Estado de emprenderlos y la de favorecer, en los demás casos, a la iniciativa privada, descargando sus obligaciones o aumentando sus ventajas para salvar la trayectoria de considerar como funesto negocio la investigación, con el caso repetido de empresas de importancia con intereses en determinados minerales que, no obstante, su preparación en medios y experiencias prefieren subvencionar y dejarla en manos de elementos de menor solvencia para eludir obligaciones cuyo alcance no se puede calcular de antemano.

La prohibición de parar y disponer de la maquinaria instalada, con la cancelación y caducidad por no responder el trabajo privado al esfuerzo a que obligue el Estado, debe substituirse por el trabajo estatal, invirtiendo los papeles que venían desarrollando am-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bas partes. El Estado, que viene actualmente percibiendo un canon de producción, en la nueva situación sería el obligado a pagar otro canon en concepto de prima al descubridor y sobre un mínimo equivalente al de la producción que exigía al particular y que éste no pudo obtener. Las labores utilizables en la nueva explotación estatal las abonaría según su importe consignado en los planes de labores que por el Estado fueron aprobados. La maquinaria y materiales sujetos a intervención y que se le hubieran facilitado al precio oficial al particular, revertirían al Estado a dicho precio y el resto sería de libre disposición del minero así expropiado.

Ello constituiría una garantía para el emprendedor de un negocio minero al saber que, si el Estado le impone obligaciones a las que no puede llegar, su trabajo no queda totalmente perdido sin beneficio para nadie y puede resarcirse, en parte, de sus pérdidas.

Si esta paradoja es muy discutible, no lo es la necesidad de la revisión de la legislación fundamental de la Minería y la aplicación de los demás preceptos que a ella le conciernan con un espíritu de comprensión que sólo puede anidar en los Servicios oficiales de Minas.

Disposiciones oficiales, de rotundo acierto en la intención, no se han llevado a la práctica precisamente por la falta de dicho espíritu, y como muestra citamos, seguidamente, una de ellas, interesantísima (12), dictada por Servicios distintos de los de Minas y que hubieran necesitado para su realización mucho estudio y trabajo, colaboración técnica y económica, estatal y particular, nacional y extranjera.

En su preámbulo, dice que «Los grandes yacimientos españoles de pirita, reserva mundial de la máxima importancia, exigen que se afronte, sin pérdida de tiempo, el no difícil problema de regular su mejor aprovechamiento, con miras a los intereses nacionales. Y como existen en las mismas porcentajes de cobre que puedan proveer gran parte de nuestras necesidades en metal, cobre y sus derivados, eximiéndonos de dependencias extranjeras, y como existe, asimismo, la posibilidad de substituir exportaciones de piritas brutas por la de azufre destilado de las mismas, con provecho para nuestra balanza comercial, beneficiando los concentrados residuales de cobre, plata y oro en el país...» Termina disponiendo, en su último artículo, la elaboración con urgencia de un plan para efectuar todo ello. Dicha orden data de poco más de hace nueve años.

La obligada intervención estatal hubiera podido actuar eficazmente sobre los elementos que constituyen el coste. La falta de suministros extranjeros, con los serios perjuicios inherentes, ha favorecido, en cambio, un avance industrial enorme en nuestra fabricación nacional. Pero mientras que parte de ésta suple perfectamente lo que en su tiempo venía de fuera, otra es incapaz de resistir la menor competencia. Una selección de estas industrias paralelamente a una tipificación en los elementos de trabajo que puede extenderse a casi todos ellos, serviría de gran ayuda para el minero en orientación, suministros, repuestos, e incluso intercambio de material de unas minas con otras. Constituiría, además, estímulo para que el fabricante mejorara y ampliase sus productos teniendo garantizada su colocación, y permitiría decidir, con visos de acierto, qué clase de materiales puede suministrar la industria nacional y cuáles son, de momento, aquéllos cuya importación es imprescindible.

En este aspecto, como en cualquier otro, es también inevitable la colaboración e información del trabajo particular y, asimismo, podrían las Asociaciones profesionales coadyuvar de forma eficaz si contaran con las ayudas económicas necesarias.

La existencia de diversos departamentos y organismos oficiales, con carácter de Direcciones Generales, que intervienen en los asuntos concernientes a las minas, aconseja elevar la categoría administrativa de los actuales Servicios de Minas, cuyo superior dictamen es imprescindible en su peculiar campo, dándoles, además, rango en consonancia con la importancia de la Minería en trabajo, técnica y capital.

Admitida como imprescindible la colaboración de la iniciativa privada y encauzada ésta en sus relaciones estatales en los Sindicatos Nacionales, no vemos inconveniente en que sin variar la estructura de éstos pudiera establecerse conexión permanente entre las Secciones de Minas de los Sindicatos de Metal, Combustibles e Industrias Químicas, con entendimiento directo con los Servicios de Minas.

Madrid, 23 de marzo de 1950.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

DISPOSICIONES OFICIALES A LAS QUE SE HACE REFERENCIA

(1) Ley de Minas 19 de julio de 1944.

(2) Decreto del Ministerio de Industria y Comercio que aprueba, con carácter provisional, el Reglamento General para el régimen de la Minería. 9 de agosto de 1946.

(3) Decreto del Ministerio de Trabajo por el que se establecen los requisitos que deben cumplirse para la suspensión o cese de empresas. 26 de enero de 1944.

(4) Orden del Ministerio de Industria y Comercio que establece los precios de los productos siderúrgicos. 17 de septiembre de 1940.

(5) Orden del Ministerio de Industria y Comercio, por la que se resuelve la incautación por el Estado de las minas e instalaciones de la Sociedad Minas de Rodalquilar. 11 de noviembre de 1940.

(6) Ley de la Jefatura del Estado sobre plan para la fabricación nacional de combustibles líquidos y lubricantes e industrias conexas. 26 de mayo de 1944.

(7) Decreto del Ministerio de Industria y Comercio, por el que se determina la cuantía de depósito previo a la ocupación de concesiones mineras, en los casos en que haya de seguirse el procedimiento establecido en la Ley de Expropiación forzosa del 7 de octubre de 1939. 3 de diciembre de 1948.

(8) Decreto de la Presidencia del Gobierno por el que se crea por el Instituto Nacional de Industria una empresa mixta para la explotación de la cuenca minera de Sierra Almagrera. 13 de noviembre de 1944.

(9) Decreto de la Presidencia del Gobierno relativo a los beneficios fiscales de las empresas del Instituto Nacional de Industria. 4 de enero de 1950.

(10) Orden del Ministerio de Industria y Comercio por la que se suspende el derecho de registros mineros para la explotación de pizarras bituminosas en toda España. 30 de enero de 1942.

(11) Orden del Ministerio de Industria y Comercio sobre aplicación del Decreto de 25 de noviembre de 1940 a los registros mineros en zonas reservadas por el Estado en que son único objeto de la reserva las rocas bituminosas. 31 de marzo de 1942.

(12) Orden del Ministerio de Industria y Comercio por la que se declara obligatorio el quemado, en las fábricas nacionales del ácido sulfúrico, de piritas a granel. 8 de febrero de 1941.

Acerca de este trabajo intervienen los Sres. Balzola, Sampelayo y Moreno Pasquau, que se muestran conformes con él. El Sr. de la Concha insiste en la absoluta necesidad de rectificar la Ley de Minas, citando como ejemplo de esta conveniencia el caso del "Wolfran", entre otros, que en la última guerra llegó a una producción de más de 4.000.000 de toneladas, casi todas ellas de exportación en dólares, con un precio de 300 a 400 ptas. Kg., de las que 100 ptas. tributaban al Estado. Una mina que había trabajado en la guerra del 14 al 18, volvería a jugar su papel en la del año 40, y, ¿qué ventajas —pregunta el Sr. la Concha— sacaría el Estado al obligar al empresario según la vigente Ley a mantener la vigilancia, conservación y desagüe durante veintidós años? ¿Por qué no podría levantarse la maquinaria que en veintidós se inutilizaría o anticuaría? Y, ¿a quién beneficiaría estar sacando agua del pozo de la mina durante veintidós años con gasto de energía eléctrica o combustible del que se escasea? Tras de breves intervenciones de otros congresistas, se acuerda aceptar las conclusiones del trabajo del Sr. de la Concha.

Seguidamente se da lectura al trabajo núm. 102 siguiente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.º 102. - El grafito en España y sus posibilidades

Autor: D. JOSÉ BALZOLA MENCHACA
Ingeniero de Minas

GRAFITOS

Se conocen desde hace centenares de años y se han empleado como elemento colorante. Su identificación como especie química data del siglo XIV, pero su verdadero desarrollo, como elemento industrial, proviene de su utilización para crisoles desde el siglo XIX. Se conoce por diferentes nombres, como plumbago, negro de lápiz, etc. Químicamente es carbono puro, blando, negro, untuoso al tacto que cristaliza hexagonalmente y que se presenta, generalmente, en forma exfoliada de escamitas o de nódulos terrosos.

Tiene densidad de 2,1, dureza de 1,2; es opaco incluso en placas delgadas, buen conductor del calor y de la electricidad y extremadamente resistente a los ácidos.

Grafitos naturales. — Se presentan en dos tipos: cristalinos y amorfos. El primero, en copos o escamas, y el segundo, es realmente un grafito cristalino también, pero con cristales individuales que no pueden distinguirse.

Grafitos artificiales. — Es realmente una manufactura de grafito que se obtiene mediante la descomposición en horno eléctrico del coque de petróleo, sílice y serrín.

FORMACIÓN Y YACIMIENTOS

Los yacimientos de grafito se presentan en todos los terrenos; en los sedimentarios, generalmente en caliza, y otras veces en granito y gneis y en las zonas del estrato cristalino.

En general, casi todos los yacimientos del mundo están en esquistos, granitos o gneis.

Aunque en algunos filones se presentan masas excepcionalmente puras, como en Ceylán, rara vez en un conjunto la ley de los yacimientos pasa del 10 % de C, con escamas del orden de 5 milímetros como máximo, orientadas paralelamente.

Minas de grafito en España.—Las primeras que se trabajaron con alguna intensidad, aproximadamente en el año 50 del siglo pasado, fueron las de Marbella, propiedad actualmente del Estado, sin ninguna producción. El mineral se presenta en el contacto con las serpentinas.

Con la misma formación, siguiendo siempre las peridotitas, se hallan en varios puntos de la provincia de Málaga, en las cercanías de Ronda, en Igualeja, etcétera.

La situación geológica de la zona de grafito de África, en la zona española, en la cábila de Gomara,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

por lo menos en la parte conocida, es similar y no tiene intensa mineralización, y en los afloramientos se presenta con gran complejidad de sulfuros y de óxidos de hierro. La estructura es en escamas muy finas, relativamente poco brillantes. Se encuentran algunas veces concreciones de bastante tamaño.

Toda esta zona, cuyo laboreo se inició hace unos seis años, se halla parada principalmente por la dificultad de comunicaciones, tan esenciales para un producto como el grafito, de poco valor en el mineral bruto (de 5 a 8 $ USA).

En la provincia de Huelva, en Cartagena y Monaster la Real, etc., se encuentran una serie de filones de grafito en gneis, con mineralización escamosa, un poco más brillante que en la zona de Málaga. Las escamas se presentan probablemente en substitución metasomática de la mica y orientadas en forma «flúida».

En Cartagena, en la década de 1930 a 1940, se hizo un serio intento de explotación. La mina es relativamente pobre, aunque no excesivamente, alrededor de un 5 % recuperable, y se trató con una instalación de molienda en seco «Raymond» seguida de una operación por flotación de celdas «Callow».

Sumamente interesante y muy plausible el esfuerzo que se hizo en aquel momento para poner en marcha la industria del grafito, y aunque terminó levantándose las instalaciones, su experiencia ha sido sumamente útil para los que han continuado este tipo de explotación. Volveremos sobre este punto al hablar de la preparación de grafito en el mercado.

Se señala también en una serie de provincias de España: Jaén, Salamanca, Coruña, Zamora, etc.

Lo ostentoso del grafito, por su propiedad de tiznar, hace que resulte que muchas veces se crea que hay verdadera cantidad, donde no pasan de unas bolsadas sin importancia.

Desde el año 1940, principalmente en la provincia de Toledo, en Puebla de Montalbán, Gálvez y Guadamur, se ha iniciado la explotación de un grafito que arma en el gneis y en el granito, de escamas relativamente grandes, brillantes y de muy buenas condiciones de untuosidad. Se trata en una instalación completa de flotación sobre la que volveremos en el capítulo correspondiente.

Cómo se han podido formar los grafitos en la Naturaleza, es problema muy discutido, pues si las teorías de metamorfosis de contacto entre los gneis grafíticos y los filones de cuarzo y roca volcánica que hay en sus cercanías pueden justificar la formación de algunos criaderos, encaja mal con la formación de grandes lentejones de grafito, como sucede en algunas zonas de Ceylán, de Siberia, e incluso en las que se hallan en contacto con las peridotitas de la serranía de Ronda. Como dice nuestro compañero y eminente geólogo D. Ildefonso Prieto, el problema es complejo, y para concluir efectúa las consideraciones siguientes:

«La obtención del grafito artificial es problema resuelto que ha pasado del laboratorio a procedimientos industriales, como el de Acheson, que se reduce a tratar el carbón con otras materias en el horno eléctrico. Parece ser su fundamento la sublimación del carbono, en unos, y la combustión incompleta de hidrocarburos, en otros, de modo que quede, en definitiva, aquél en estado de grafito, que es un forma alotrópica del mismo.

Si se admite la influencia de los hidrocarburos en los procesos metalogénicos (Hereza), es indudable que en la formación de grafitos su aplicación es inmediata, ya que una combustión incompleta de los mismos, en ambiente apropiado, puede producirlo.

En definitiva, el carbono gaseoso o los hidrocarburos en combustión pueden dar origen a fenómenos de metasomatismo, o dejar grafito libre en un ambiente reductor.

Ahora bien, la universalidad de yacimientos, con ligeras excepciones de los grafitos en el tramo inferior del estrato cristalino, hace pensar que en el ambiente y modo de formación de estas rocas de la corteza primitiva, existían condiciones de temperatura, composición, estado eléctrico, etc., apropiadas para que el carbono quedara libre en estado de grafito.

Como conclusión de lo expuesto, creemos que el grafito pudo quedar libre y entrar en la formación de los estratos, como cualquier otro de sus elementos componentes; que el carbono sublimado puede substituir por metasomatismo de los elementos, tales como la mica y el anfibol de los gneis y micacitas, y que la combustión incompleta de los hidrocarburos desprendidos de los magmas y el grafito sublimado pudieron rellenar grietas e intersticios de las rocas y aun los planos de cruceros de las rocas en el proceso de metamorfismo.

El primer modo de formación puede dar carácter

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de capas a los yacimientos de gneis grafíticos, las cuales pueden alcanzar gran extensión en longitud y profundidad. Los otros modos de formación pueden justificar las irregularidades de vetas, bolsadas y grandes lentejones que existen en los yacimientos de gran riqueza, donde suelen coexistir los citados modos de formación y que, desde luego, existe en la zona de grafitos de la provincia de Huelva.»

En los yacimientos de Toledo y de Huelva las condiciones de temperatura son las necesarias para que se verifique el fenómeno señalado, y están en contacto con intrusiones de roca volcánica muy ferruginosas bastante granitíferas, que cortan la masa normal de granito-gneis.

Fenómenos locales de esta intrusión suelen ser la formación de grandes «ollas» con escorificación de parte de los elementos y de gran profusión de elementos muy ferruginosos en la costra de las «ollas» citadas.

En España se señala también en las provincias de Santander, Barcelona y Gerona; con gran profusión en la de Segovia, y en Sevilla, en la zona de Lora del Río, una serie de pizarras grafíticas que a veces llegan a tener un 35 % de carbono.

A nuestro juicio no tiene valor industrial, por el momento, por tratarse de un grafito amorfo, que es hasta el momento presente imposible de mejorar con elementos mecánicos hasta llegar a la ley que necesita para su venta.

PRODUCCIÓN POR PAÍSES Y EN ESPAÑA

La producción por países viene a ser aproximadamente la siguiente: Méjico, Checoslovaquia, Madagascar, Ceylán, Corea, Alemania y Austria. De los otros países del mundo se llega actualmente a una producción de unas 200.000 t. Rusia tiene una producción muy apreciable, pero sus estadísticas son desconocidas.

A continuación, se expresa la producción mundial:

TABLA I

	1939	1940	1941	1942	1943
Argentina	—	100	135	248	—
Australia...	—	63	320	324	—
Brasil	—	—	60	72	1
Canadá	1.199	1.381	905	463	—
Ceylán	22.756	24.414	—	27.872	20.830
Madagascar...	12.270	15.311	13.018	12.000	18.000
Méjico	9.815	12.327	16.928	20.811	20.677
Marruecos español... ...	—	353	408	—	—
África...	—	71	188	—	1.359
África del Sur	59	78	62	233	621
Estados Unidos...	—	—	—	6.459	9.016

La producción obtenida en España, según las estadísticas, es la que figura en la Tabla II adjunta, en la que se puede observar la diferencia de las estadísticas al dar las cifras de Marruecos, que, unas veces, se refiere a mineral bruto, otras, al desbastado, y otras, al concentrado. En cambio, el de Toledo corresponde todo ello a mineral ya preparado. La producción de Barcelona se refiere a grafito de retorta de horno de coque, y no a grafito.

GRAFITO

TABLA II

Año	MARRUECOS				TOLEDO				BARCELONA				HUELVA			
	Obreros	Ptas.	Kg.	Ptas. Kg.	Obreros	Ptas.	Kg.	Ptas. Kg	Obreros	Ptas.	Kg.	Ptas. Kg.	Obreros	Ptas.	Kg.	Ptas. Kg.
1939		54.000	54 000	1,—												
1940		353.000	353.000	1,—												
1941	80	23.000	23 000	1,—												
1942	18	207.325	251.000	0.82												
1943	38	328.500	79.000	4.15	28	171,000	57.000	3,—								
1644					42	262.592	91.200	2,66	4	47.950	95.900	5,—				
1945	21	125.000	100.000	1.25	38	341.544	138.400	2,46	7	46.000	23.000	2,—				
1946					63	811.300	305.000	2,66	4	400.000	200.000	2, -	5	50.750	14.500	3,50
1947						927.000	309.000	3,--								
1948		37.500	25.000	1,50	67	723.000	241.000	3,—								

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se señalan en la tabla los países productores del mundo, resaltando la importancia que como interés militar tiene este reparto. Ceylán ha estado prácticamente incomunicado durante la última guerra, tanto con Inglaterra como con Estados Unidos. Madagascar también tuvo grandes dificultades. Checoslovaquia, Alemania y Austria, así como Corea, estaban eliminadas. Estados Unidos se vió obligado a forzar su producción, en sus minas de Alabama, principalmente, y a incrementar la producción de Méjico, cuyo grafito tiene malas condiciones para la utilización en crisoles.

Como los usos «guerreros» del grafito son sumamente esenciales, el problema ha tenido gran interés y producido preocupación.

PROSPECCIÓN

De lo señalado anteriormente, se deduce que únicamente se explota el grafito escamoso o amorfo que sea susceptible, bien de manera directa o por preparación mecánica, de rebasar el mínimo de ley exigida para los empleos industriales, o sea, un 60 %.

La prospección se suele hacer a base de zanjas y pocillos, siguiendo los afloramientos.

El Departamento de Minas norteamericano, durante la última guerra, efectuó prospecciones sumamente interesantes, en las que se abrieron zanjas de gran longitud, en primer término, sondeos con sonda de tipo Keystone, y al conocer el resultado de esta investigación superficial se pasaba a mayor profundidad por medio de pozos.

Las investigaciones en Estados Unidos, efectuadas por el Bureau of Mines, han seguido un criterio que no puede ser más acertado ni más práctico: han supuesto que todo el grafito cuya liberación exija efectuar una molturación por bajo de 150 mallas de *todo el mineral bruto* no debe considerarse recuperable ni tiene valor industrial. La toma de muestras la hacen a base de tomar un kilo, triturarlo a menos de 150 mallas y someterlo en celdas de laboratorio a una separación en concentrados y estériles, con una cantidad de reactivos conocida y determinar el peso y la ley de los concentrados obtenidos.

Así se obtiene una idea más real del valor del criadero y economizan cantidades muy apreciables al evitar análisis sistemáticos del mineral todo-uno.

En España, y, principalmente, en la zona de Toledo, la investigación se ha hecho a base de zanjas. La mineralización parece que sigue tendencia general de NO. a SE., y las zanjas se hacen transversalmente en las cercanías de la roca volcánica intrusiva posterior, a la que nos hemos referido, y en aquellas otras zonas en que la caolinización es más intensa, y donde también parece que el fenómeno de grafitización ha sido más intenso.

En estas zanjas se hacen pocillos con torno de mano y si, como en la mina de Guadamur, la mineralización parece más intensa, se abre un pozo con sus galerías correspondientes.

Como las cantidades que consume el país, como luego se verá, son relativamente pequeñas, no es posible efectuar tampoco una prospección en gran escala y rápida, sino que se limita a labores de mineral «a la vista», con un avance de unos dos años de explotación.

Al principio, y por los resultados de la mina «La Española», sita en La Puebla de Montalbán, temíamos que la mineralización fuese muy somera y superficial. Sin embargo, en la mina de Guadamur, a los 30 metros hemos hallado corridas de 100 m. con mineralización de 3 m. en grafito blando, que nos permiten pensar en mineralizaciones profundas.

Método de explotación. — Poco podemos decir, sino que son los completamente normales para minas pequeñas con un pueble minero del orden de unos cuarenta hombres.

El rendimiento que en nuestras explotaciones obtenemos, trabajando en un 50 % a 30 metros de profundidad y en otro 50 % en labores de superficie, que no pasan de simples calicatas, es de unos 800 kg. por jornada diaria.

La única mecanización se reduce al empleo de martillos perforadores y de martillos picadores en las zonas blandas.

PREPARACIÓN PARA EL MERCADO

En la pauta general en el mundo, la preparación del grafito es aproximadamente la siguiente:

a) Molienda en grueso con estrío.

b) Refino, desbaste de este concentrado con una molienda en molino de tipo chileno, de molino de barras y molino en seco de tipo Raymond, etc.

Todo ello tendiendo a que la escama de grafito se

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

maje lo menos posible y que se obtenga la mayor cantidad de producto utilizable en escama grande.

A este mineral así preparado se lo somete a un lavado por gravedad en grandes planos inclinados, de solera de cemento, con el que se efectúa una operación de desbaste. Otras veces, y la tendencia moderna va en esta dirección, se hace pasar este producto desbastado por celdas de flotación de tipo especial, con aireación muy intensa, con objeto de que puedan flotar partículas gruesas.

c) Molienda fina y refino de los concentrados.

El grafito es un producto que flota muy rápidamente, pero con un exceso de facilidad tal, que arrastra impurezas. Por otra parte, por su característica blandura, tiene el inconveniente de que en él se «clavan» las partículas de sílice y de ganga que lo acompañan, y así vemos claramente, al examinar con el microscopio, partículas en la malla 150 en que el grafito se halla *completamente limpio*, pero que tienen entrecruzado de cuarzo, producido por la acción mecánica de la molienda, y de ahí se deriva la dificultad de los refinos que necesita este mineral y la causa de casi todos los fracasos de esta minería. Una vez que se ha llegado con flotación al máximo de ley que permite la *formación específica del criadero*, para elevar la ley aún más, es preciso recurrir a elementos químicos que disuelvan la ganga.

En general, suele ser fusión con carbonato de sosa, una remolienda y un lavado, o bien un tratamiento por ácido fluorhídrico.

Preparación de los grafitos en España. — Como hemos dicho anteriormente, el primer ensayo serio en España, para la obtención de grafito y en la época moderna, es el efectuado en Huelva.

El esquema inicial de la planta fué el de una molienda de tipo Raymond, con objeto de romper el mineral en partículas lo más gruesas posibles, una flotación en celdas de tipo Callow, en la que se marchaba con concentración de pulpa relativamente pequeña y un refino de los concentrados bastos obtenidos, pasando por molinos de bolas y relavando el producto obtenido hasta llegar a la ley deseada por el mercado.

El primer inconveniente que tuvo la instalación proviene de lo raspante que es el mineral (30 % de cuarzo), que produce desgaste anormal de los elementos de molienda.

Además, el producto molido «relativamente basto» pasaba a las celdas de flotación y arrastraba un exceso de ganga, lo que hacía que la ley del producto fuese baja.

Para corregir algunas dificultades anteriores, se decidió desterrar la molienda en seco y poner molienda en húmedo, a base de molinos de bolas, con tendencia a buscar un producto de ley pura, sin dar demasiada importancia al tamaño de la escama. Se puso una serie de molinos de bolas de tipo «Hardinge» seguidos de una serie de baterías de flotación. Cada uno de los molinos seguidos de sus celdas hacían un desbaste, y el producto desbastado pasaba a la siguiente. Aun así, no llegó a resolverse el problema de manera fundamental y con el rendimiento debido, por lo que se instaló en el último momento un molino de bolas Krup de 300 HP., de gran longitud, aproximadamente de 1,50 × 10 metros de largo. En este molino pasaba toda la carga del lavadero, que la reducía a un tamaño menor de las 150 mallas.

Con la instalación definitiva la recuperación de carbono era buena. Como en casi todas las minas de grafito, no solamente de España, la mina «en sí» estaba más retrasada que el lavadero. Se suponen geológicamente posibles reservas para una marcha constante, pero aquéllas no estaban preparadas, ni siquiera suficientemente prospectadas.

No hemos visto la instalación en marcha, y solamente hablamos a base de la interpretación de nuestras visitas cuando la instalación estaba parada y de los datos que posteriormente hemos podido obtener de Jefaturas y elementos interesados en el asunto.

Preparación del grafito por la Comercial Químico-Metalúrgica en su instalación de Guadamur.— El grafito se presenta en escamas brillantes. La ganga es el componente de la roca encajante, que es granito o gneis. No hemos podido apreciar la existencia de sulfuros de ninguna clase, por lo menos en la zona descompuesta que hasta el momento estamos trabajando.

El proceso de preparación es el siguiente:

Una molienda en grueso, a base de una machacadora de mandíbulas, seguida de una quebrantación más a fondo, por medio de un molino de martillos volantes. Al final de este molino pensamos en el futuro colocar un tamiz de 2 mm., al objeto de separar el ma-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

terial más fácilmente desprendible de la mena y someterlo a un tratamiento especial, para conseguir escamas de tamaño mayor, para las aplicaciones especiales que este producto tiene.

Pero, como se habrá visto y se puede observar, de los empleos del grafito en España la utilización como pilas o en la fundición es el 90 % de los probables empleos, y, por lo tanto, en nuestra preparación, hasta el momento actual, no hemos tenido ningún cuidado de evitar que la escama se rompa.

El todo-uno así preparado pasa por un molino de bolas de tipo «Hardinge», de 6 pies por 22 pulgadas, que trabaja con una carga de 3 toneladas por hora en circuito cerrado con un clasificador de tipo espiral. La densidad de este clasificador corresponde a un 18 % de sólidos, y con esta marcha conseguimos una molienda en la que el 100 % está por debajo del tamiz 100 y el 60 % por debajo del tamiz 150.

El aliviadero del clasificador pasa a un acondicionador de 1,50 de diámetro, donde se efectúa la homogenización y donde se envía el reactivo, aceite de pino y algo de creosota y pasa a una tubería de siete celdas con rodete de agitación y, después, por una celda de tambor tipo K. K.

Todos los concentrados de esta batería de celdas pasan a una bomba que alimenta un cono de tipo «Callow», cuyo desbordamiento tiene ya un tamaño del 75 % por bajo de 150 mallas, y los productos espesados del cono pasan a otra batería de celdas, también de tipo de agitación, mientras que la parte espesada va a sufrir nueva molienda en un molino cilíndrico de 1,20 × 2 m. de longitud, que descarga a la misma bomba antes referida y que vuelve a cerrar el ciclo. El aliviadero, que sólo tiene alrededor de 7 a 10 %, se carga en la celda 5 de la nueva batería y las espumas de la 5 hasta la 7 se recogen y se envían a la celda 4 y de ésta sufren un nuevo lavado en la 4, en la 3, en la 2 y en la 1.

Con este circuito y a una carga de unas 3 t./h. podemos llegar a una ley del concentrado final de alrededor del 50 al 60 % de carbono, y, por lo tanto, con un grado de finura suficiente para que resulte un producto preparado para la utilización en la fundición. Cuando se trata de hacer material para pilas o algún otro objeto en que sea necesaria una ley más elevada de carbono, se repite el ciclo, cargando el producto de 55 ó 60 % de ley en el molino «Hardinge», y en este segundo paso la ley que se suele obtener es del orden de un 72 %.

Por último, se hace sufrir al material nuevamente otro repaso en el ciclo completo señalado, y este tercer repaso sube la ley del producto final al 80 %, como mínimo.

Las cargas de los repasos se hacen a razón de 400 a 500 kg. por hora, aunque algunas veces es necesario rebajar las cargas hasta 200 kg./h.

Los reactivos para este circuito son los señalados anteriormente, de aceite de pino y creosota, como espumantes, en cantidades mínimas del orden de 20 gramos por tonelada (hay que tener en cuenta que las partículas están ya aceitadas), y se le agregan los depresores normales de silicato, almidón, cola, según convenga y según la calidad del producto que se quiera obtener.

Las concentraciones de sólidos de los líquidos en estos relavados son completamente anormales y oscilan alrededor del 10 %.

A base de un nuevo repaso, sin mirar al anterior, se podría obtener una ley del orden del 86 al 87 % de grafito, pero con mineral seleccionado previamente, es decir, con el todo-uno general de Guadamur, no se puede obtener más ley que el 80, probablemente porque, a pesar de que la molienda ha llegado a menos de 200 mallas, todavía sigue habiendo un intercalamiento del grafito y de la mica, imposible de aislarlo con molienda.

En los momentos actuales, debido a las grandes dificultades de restricciones de energía eléctrica, que tanto perturban los trabajos en los que es necesaria una marcha continua y regular, la capacidad de la instalación, con las horas de energía que tenemos por año, no es suficiente como para abastecer el mercado nacional, y por ello no nos ha sido posible el atacar, como es nuestro deseo, el tipo de grafito más rico, como para lubrificantes, escobillas, etc., y para los que sería necesario un tratamiento químico.

Como en todas las preparaciones de grafito, hemos encontrado que en el primer circuito el grafito flota profusamente, pero con él una gran cantidad de mica y de feldespato, y que sólo a base de repasos continuados, largos y costosos, es posible obtener una ley más elevada. Es preciso trabajar con diluciones sumamente grandes y cargas muy pequeñas, al objeto de que el material esté en las celdas el mayor tiempo po-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sible, e ir haciendo las eliminaciones sistemáticas en cada uno de los pasos.

Adjuntamos un esquema de la marcha del tratamiento de grafito en la mina de Guadamur.

LEYES, ESPECIFICACIONES Y EMPLEOS

El consumo anual calculado de grafitos y plombaginas en España es el siguiente:

TABLA III

Industrias	t/año	% (aprox.)	Ley en C %
a) Moldeo de fundición	300	45,00	+ 55
b) Fabricación de crisoles, etc. ...	200	30,00	+ 80
c) Id. de pilas eléctricas, etc. ...	100	30,00	+ 80
d) Id. de lubrificantes grafitados.	20	3,00	+ 95
e) Id. de cartones grafitados	20	3,00	+ 70
f) Id. de pinturas	12	1,50	+ 55
g) Id. lapiceros	8	1,00	+ 80
h) Id. de diversos	10	1,50	
Totales	670	100,00	

Es interesante pasar revista más detallada a algunos de los empleos.

Desintegración del átomo.—Se emplea como «moderador» de la acción de los neutrones de uranio. Parece que su empleo para el objeto va disminuyendo. Por el momento, sin aplicación nacional.

Grafitos para fundición.—La calidad del producido en España es superior a lo que se venía importando, ya que en estos últimos muy rara vez se trataba de minerales de grafito escamoso puro, sino que eran una mezcla de grafito natural con coque molido y, muchas veces, hasta con antracita.

Fabricación de crisoles.—El consumo de crisoles en España es de relativa importancia. Unas 75.000 libras esterlinas cif.

Se ha discutido mucho últimamente sobre la ley en carbono necesaria para la fabricación de crisoles de buena calidad. La tendencia antigua era de ir a unos grafitos muy puros y con hoja muy grande.

La tendencia moderna parece que no da tanta importancia a la ley de la escama, sino a lo que podemos llamar «escoria» de la misma y al grado de fusibilidad. Hasta hace unos años se consideraba la mica como uno de los elementos perturbadores, y la tendencia moderna parece quiere reivindicar este producto, que da consistencia y elasticidad al crisol. El grafito para crisoles debe tener un tamaño de más de 50 y menos de 20 mallas; la ganga restante no debe ser fusible, pero, sobre todo, debe tener buenas condiciones físicas, como son blandura, y que su forma sea la de paralelógramo o polígono, con ley del 85 al 95 % de C. El grafito de Madagascar es el que tiene mejores condiciones para este objeto.

La Comercial Químico-Metalúrgica, a quien se debe el esfuerzo de la puesta en marcha del negocio de grafitos en España, ha efectuado algunos tanteos y estudios sobre la posibilidad de obtener mineral para este empleo y continúa haciendo el estudio de fabricación de crisoles, con buenas esperanzas de poderlo resolver acertadamente.

En España se consumen 1.500.000 puntos de crisoles, con un valor de unas 75.000 £ cif.

Pilas.—El grafito de pilas debe tener, como mínimo, el 80 % de ley, densidad aparentemente muy baja y conductibilidad alta.

Lubrificantes.—Para empleo de lubrificantes es necesario un grafito de 98 %, sin ninguna impureza silícea.

Escobillas.—La mayor parte se fabrican actualmente de grafito artificial; se emplea también el grafito con una ley por encima del 95 %. Algunas de las escobillas para equipar aviones están construídas con grafito natural con 97 a 98 % de carbono, con lo que obtienen las mejores condiciones para operar a altas temperaturas.

Lápices.—En el grafito para lápices tiene importancia fundamental la blandura, y que las impurezas no sean silíceas.

Además de los empleos anteriores, el grafito se emplea para pinturas, para cremas de zapatos y para evitar la formación de óxido en las calderas.

Agricultura.—En agricultura se ha empleado como relleno para los fertilizantes, que recubre las partículas y evita la absorción de humedad. Se emplea también para tratamiento de las hojas de té y de los granos de café, para protegerlos de la humedad.

En Alemania, tierras grafíticas con muy poca cantidad de carbono, principalmente estériles de lavadero, se emplean como fertilizantes en general. Su valor fertilizante no está bien explicado pero, desde luego, se puede asegurar que uno de los indicios que más siguen los prospectores de grafito es el de examinar los frutos del terreno, y en aquellos lugares en donde

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

son más rozagantes, hay más probabilidades de encontrar grafito.

PRECIO DEL GRAFITO

En España, aproximadamente, el costo técnico del grafito es del orden de 3,60 ptas./kg., y llega al mercado con unos gastos de saquerío, transporte, comisiones a revendedores, etc., de aproximadamente el 60 % de su valor para la calidad de grafito escamoso para fundición.

A medida que al grafito escamoso se le va mezclando polvo de coque, carbón de retorta de fabricación de gas y se diluye luego con arcilla, el precio, a tenor de su calidad, va disminuyendo, hasta ponerse en el mercado en un mínimo actual de 5 ptas. Y cuando se llega a los titulados en el mercado «negros de fundición», que no tienen grafito escamoso, sino que suelen ser, en general, una mezcla de coque, antracita y arcilla, baja hasta 2 ptas./kg.

En el grafito rico el precio suele ser aproximadamente proporcional a la ley.

Internacionalmente, el grafito de Ceylán, del 85 al 90 %, se vende a 9 ó 10 centavos de dólar por libra. El tipo cristalino, a 10 ó 12 centavos, y los finos alrededor del 70 % de los anteriores.

Los precios en Madagascar oscilan alrededor de 10 centavos por libra.

POSIBILIDADES DE EXPANSIÓN DE LA INDUSTRIA DEL GRAFITO EN ESPAÑA

El Consejo Ordenador de Minerales de Interés Militar, que tan interesado está en el problema de los grafitos, estudia el mismo con gran interés, polarizando principalmente sus esfuerzos en la zona de grafitos de África.

Con vistas a este posible fin y enfocando principalmente los grafitos de África, el Consejo Ordenador efectuó una instalación de flotación en Estepona, provincia de Málaga.

De dar buen resultado, el lavadero de Estepona sería el centro de preparación mecánica de grafitos que provendrían de la explotación de África, cara, sobre todo en su transporte, pues desde la cábila Gomara a Punta de Pescadores hay que llevarlo por pista. Por eso consideramos prácticamente imposible con un laboreo técnicamente aceptable el que de esta mina se abastezca de manera continua a Estepona, sin que se efectúe previamente un «desbaste» para elevar la ley del mineral todo-uno en boca mina a un mínimo de 40 %.

Consideramos:

a) Por la calidad de los grafitos de África es imprescindible tomar muchas precauciones por la complejidad del mineral, pues, de otra forma, podría dar lugar a un fracaso, más por las características físicas del producto obtenido y por la composición perjudicial de su ganga, que por la ley en carbono.

b) De las minas de la zona de Marbella, cercana a Estepona, con calidad de mineral que antiguamente tenía mucha fama, pero de la que no se tienen datos modernos, y en la cual también sería imprescindible el efectuar una investigación adecuada. También en este punto sería necesario establecer un lavadero de desbaste en boca mina.

c) Zona de Igualeja y de otros lugares de la provincia de Málaga. Similares al anterior.

d) Zona de Huelva. Se puede asegurar que, con el tratamiento debido, se obtendrá un grafito del 90 %.

Para abastecer el lavadero de Estepona y evitar el costo de transporte también en este caso, sería necesario hacer desbastes previos.

En estas condiciones, el «esquema» de un posible planeo de minería y preparación de grafito, con tendencia a la exportación y en una cantidad de digamos 2.000 t. de concentrados, que equivaldrían aproximadamente a unas 47.000 t. de producción bruta, sería el siguiente:

Dos minas trabajadas en África con un lavadero común y equipadas con la misma central térmica. Los minerales de las dos minas abastecerían a un lavadero de desbaste para elevar la ley del todo-uno a 40 o 50 % de carbono. Por pista y barcazas se llevaría posteriormente a Estepona.

Estas dos minas podrían producir, aproximadamente, 25.000 t., o sea, el 60 % del total previsto.

En la zona de Marbella, en la mina del Lápiz, principalmente, se haría una instalación similar, para una producción de unas 8.000 t./año.

En las minas de Igualeja, también una explotación del orden de 6.000 t. con desbaste previo.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Las posibles cifras a que, en primer tanteo, resultaría este laboreo, son las siguientes:

	Por t. bruta	Por t. 40 % C	Por t. 85 % C
Arranque	35		
Lavado	20		
Varios	10		
Gastos generales	10		
	75	701	1.810
Transporte a lavadero de afino		50	128
Lavadero de afino			80
			2.018
Secado, ensacado, tranporte a puerto.			500
Varios e imprevistos			200
			2.718

Investigación, capital, instalaciones.—Por la experiencia que tenemos de la Comercial Químico-Metalúrgica en los nueve años de trabajo en sus minas de Guadamur, podemos calcular un costo de investigación del orden de 2 ptas. por tonelada bruta.

Como para el planeo de una posible explotación a base de 2.000 t./año, serían necesarias 47.000 toneladas brutas, y conveniente contar, como mínimo, con 10 años de trabajo «a la vista», la cifra equivale a dos millones de pesetas de investigación.

También por comparación con las cifras invertidas en el coto minero de Guadamur valoramos la inveresión de capital-mina y de capital-lavadero de desbaste en 400 pesetas por tonelada-año producida.

En este caso, por ser de mayor importancia el negocio, la cifra de capital sería algo menor, pero en las minas de África necesitan el establecimiento de pistas, embarcadero, aunque sea rudimentario, y sobre todo, la instalación de centrales térmicas del orde de 250 CV., y, por lo tanto, creemos prudente calcular a base de una inversión igual a la señalada.

Groso modo, por tanto, sería necesario un capital de veinticinco millones de pesetas.

El amortizar este capital en un trabajo de quince años supondría un recargo de unos 75 céntimos por kilo (no hacemos juego de intereses, porque tampoco damos ningún valor a la instalación final de la amortización).

Conclusión económica.

Costo técnico	2,70	
Amortización de investigaciones y capital mina.	0,75	
Beneficio «mínimo» de margen minero 28 %	0,69	
Total	4,14	= 4,20

Ahora bien, con venta a 15 céntimos como precio internacional, podemos establecer:

Cotización $	10	20	30	40	50
Ptas./kg.	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50
Costo de «equilibrio» en España	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20
Margen	—2,70	—1,20	+ 0,30	+ 1,80	+ 3,30

Es decir, que suponindo que se pudiese estabilizar el costo en España a las cifras previstas, sería necesaria una cotización del dólar equivalente a 40 pesetas para que, con margen suficiente, se pueda atacar esta industria.

Resumen de este capítulo.—Desgraciadamente vemos poco margen para la implantación de una industria de producción de grafito con miras a la exportación, porque exige gran inversión de capital y por no estar claro el margen «minero» necesario.

Por otra parte, la dificultad de introducirse en el mercado internacional es grande, por lo pequeños «*en cuantía*» que son los consumidores de este producto, del orden de 200 kg. de media por consumidor. Esto traería consigo un tiempo de puesta en marcha y luchas económicas para dicha introducción, que con las investigaciones sumarían un mínimo de cinco años.

RESUMEN DE LA IMPORTANCIA QUE PUEDE TENER EL GRAFITO PARA NUESTRA BALANZA COMERCIAL DE IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN

Como se establece en la Tabla III, las posibilidades de consumo de grafito, primera materia, en España, pueden ser del orden de 670 toneladas anuales, equivalente a las cotizaciones actuales (las oscilación del precio del grafito durante los ocho años últimos ha sido relativamente pequeña) a unas 36.000 libras por año.

Gracias al esfuerzo, a la constancia y a la fe en las posibilidades de este mineral de una Sociedad como la Comercial Químico-Metalúrgica, que conociendo a fondo el mercado de grafito en España, por haber sido una de las importadoras y distribuidoras más importantes del país, y, sobre todo, por el deseo de resolver un problema nacional de los grafitos españoles cuando las importaciones se hacen difíciles o imposibles, mostrado por su Gerente D. José Ramón Murga, se ha resuelto en gran parte, en la parte que podemos llamar principal, la de la primera fase.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La segunda fase, para la que es necesario tener regularidad de suministro eléctrico, nos puede permitir en plazo relativamente breve pensar en la obtención de grafitos de mejor calidad y, a base de los mismos, iniciar la fabricación de crisoles, que puede evitar, en su totalidad o en gran parte, la importación de unas 75.000 libras por año, que supone este producto.

En resumen, de lograrse que sea nacional el 90 % del grafito consumido en España, tanto como producto bruto como crisoles y fabricaciones similares, puede suponer para la economía nacional 135.000 libras por año.

Todas las economías de todos los países han de resolverse a base de estudiar cada uno de los elementos que las integran, y la constante inquietud de todo ingeniero que tenga verdadero concepto de la responsabilidad nacional en su técnica, ha de ser el poner en su trabajo los elementos que estén en su mano y puedan tener tendencia de la mejora de la rentabilidad nacional.

Por eso, al final de este trabajo, no puedo menos de felicitar por sus orientaciones generales a los integrantes del Consejo Ordenador de Minerales de Interés Militar, y agradecer a D. José Ramón Murga, Gerente de la Comercial Químico-Metalúrgica, de Bilbao, importadora y distribuidora de grafitos hasta hace unos años, por su constancia y su fe en encauzar el negocio con producción nacional.

El Sr. Balzola aclara algunos extremos sobre el lavado de grafitos a solicitud del Sr. Aranguren, y pasa seguidamente a exponer el Sr. Balzola una síntesis sobre:

TRABAJOS EN LOS ALUVIONES AURÍFEROS DE LEÓN.

El trabajo completo no ha podido llevarlo a término para presentarlo ante el Congreso, por premuras de tiempo, lo que lamenta muchísimo, dice el autor, pues la referencia que ha hecho, puede no dar idea de la importancia de la cuestión de que se trata.

Después de la exposición resumida que hizo el Sr. Balzola, el Sr. Durán pide aclaraciones sobre el asunto desarrollado, y el Sr. Aranguren pregunta, además, si el capital privado se desinteresa de la investigación aurífera si ha de ser el Estado el que la tiene que hacer. Contesta el Sr. Balzola, previas unas aclaraciones del Sr. Moreno Pasquau, y afirma debe ser el Estado quien investigue sistemáticamente a estos efectos los ríos españoles.

Don Primitivo Hernández Sampelayo, manifiesta que, con la cuestión planteada se va de nuevo al problema presentado por el Sr. de la Concha en su trabajo, y dice además, que los particulares harían seguramente suficientes investigaciones si la legislación minera suprimiera los trabas que impone.

Terminada esta intervención, y por no encontrarse presente el autor del trabajo núm. 9, que se reproduce a continuación, se da lectura al resumen del mismo:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.º 9. - Nuevos métodos de avance de galerías en roca

Autor: D. RAMÓN IBARROLA SERRANO
Ingeniero de Minas

Como consecuencia de la guerra mundial pasada se sintió en todos los países gran necesidad de carbón, que, unida a la escasez de mano de obra, hizo descuidar las labores preparatorias en la mayor parte de las minas. Terminada la guerra, en unas naciones, los servicios estatales de minas nacionalizadas, y en otras, las empresas particulares, han proyectado y están realizando grandes trabajos, construyendo pozos nuevos y modernizando otros, en los que concentran la extracción.

En estos trabajos encuentran frenada su actividad por el ritmo, forzosamente lento, de avance de las muchas labores en roca que tienen que realizar. Con vistas a aumentar esa velocidad se han dirigido a las minas metálicas, donde esos trabajos son más abundantes y, generalmente, más difíciles por la naturaleza de las rocas atravesadas, y han tratado de aplicar las máquinas y los métodos que en ellas se utilizan, con lo que han logrado resultados sorprendentes.

En España también se aprecia la misma necesidad de carbón y hubo el mismo retraso en las labores preparatorias por falta de personal. Ahora que parece presentarse mayor abundancia de mano de obra, aunque ésta no sea especializada, y que se activan las labores de avance de galerías en roca, creímos conveniente ensayar esos métodos.

Con la falta de maquinaria apropiada y la escasez actual de medios, hemos realizado pruebas con resultados muy prometedores, para cuando se pueda importar la maquinaria necesaria, y de todas formas ventajosos, comparados con los métodos actualmente en uso.

Para animar a nuestros compañeros a realizar ensayos semejantes, expondremos primeramente los métodos, tal como se emplean en las minas modernas, y los resultados que se obtienen, y luego, los rudimentarios empleados por nosotros, también con los resultados obtenidos, que creemos fácilmente pueden mejorarse.

PERFORACIÓN

Las perforadoras y los martillos eléctricos no han dado resultado en rocas duras, por lo que se emplean casi universalmente en el avance de galerías martillos accionados por aire comprimido, bien producido en grandes comprensores centrales instalados en el exterior de la mina, o bien en las minas electrificadas totalmen-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

te, en pequeños compresores semiportátiles montados en la proximidad del lugar de su utilización.

Lo esencial es una buena presión de trabajo, no limitado como antes a 4-5 atmósferas, sino de 6 a 7 y aun, en algunas minas suecas, de 10. Cuando la presión en la red no es lo suficientemente elevada, se emplean pequeños compresores de 20 a 25 HP., que toman el aire de la red general y lo comprimen a la presión necesaria.

El efecto de estas mayores presiones es mayor velocidad de perforación: En una mina inglesa se instaló uno de esos pequeños compresores que hizo pasar la presión en el martillo de 5,5 Kg/cm² a 7 Kg/cm²; la velocidad de perforación aumentó en un 30 %, y se apreció igualmente mejoría semejante en el funcionamiento de la máquina cargadora, accionada asimismo, en este caso, por aire comprimido.

Como hemos dicho, se emplean universalmente en la perforación martillos neumáticos. La potencia de los martillos empleados depende de la naturaleza de la piedra que se debe atravesar. Se recomienda para las rocas que generalmente se encuentran en las minas de carbón, martillos con cilindros de 2 ½" a 3" de diámetro y pesos de 20 a 28 Kg. que trabajan con barrena hexagonal de 1". El consumo de aire de estos martillos es de 1.900 a 4.500 l/m. a 6 atmósferas.

Estos martillos resultan pesados para ser manejados a mano, por lo que se han ideado distintas clases de soportes que, al mismo tiempo, facilitan el trabajo de dirigir los tiros en la forma necesaria.

Las antiguas columnas que, por medio de tornillos, se fijaban al piso y techo de la galería, no se emplean en absoluto, por la lentitud de su instalación.

El soporte más ligero y, quizá, más apropiado para martillos de poco peso, es el pie neumático, llamado también dispositivo de avance articulado. Es un cilindro de aire comprimido que, apoyado en el piso de la galería, sirve de soporte del martillo, mientras que el obrero sólo tiene que aguantar la componente de la fuerza de presión del martillo contra la roca, no recibida por el pie neumático colocado en posición inclinada. La admisión de aire al cilindro neumático debe regularse a medida que avanza sobre la barrena, por lo que su manejo necesita aprendizaje. Sus ventajas son el poco peso, de 15 a 20 Kg., y la facilidad para retirarla y dejar paso a la máquina cargadora.

Los soportes más perfeccionados son los conocidos con el nombre de «JUMBO». El más usado consiste en un bastidor sobre ruedas que lleva de 2 a 5 brazos provistos de movimiento de giro alrededor de un eje vertical y otro horizontal; estos giros pueden regularse, bien neumáticamente, o bien por medio de tornillos y sectores dentados. A esos brazos se sujetan los martillos perforadores por medio de una coraza o cuna que permita su avance en dirección, que se logra, bien a mano, con un mecanismo de tuerca y tornillo, o bien, automáticamente, con una serie de engranes accionados por el mismo aire comprimido. Con el movimiento de los brazos se consigue llegar a todos los lugares del frente, y luego, girando al martillo en su soporte, se puede dar a los tiros la inclinación deseada.

En otros «Jumbos» menos perfectos, la plataforma lleva un cuadro de tubo en forma de H, que en cada una de sus 4 ramas lleva un martillo perforador.

Los «Jumbos» llevan acometidas generales para unir a la red de aire comprimido y de agua de inyección si existe ésta, o, si no, un depósito de agua a la que el aire da la presión. Durante su trabajo se inmovilizan por columnas con pistón de aire comprimido o por tornillos que se apoyan en el techo de la galería.

El inconveniente de los «Jumbos» es ocupar toda la galería, y muchas veces constituye un problema el retirarlos después de terminada su labor, para dejar las vías libres al paso de los vagones en los que se ha de cargar el escombro.

Para reducir este inconveniente se disponen en las galerías largas varios apartaderos. Así, en el túnel Carlton, de 9.700 m., se hacía un ensanche en la galería cada 900 m. para apartar el «Jumbo» o la cargadora, además de un dispositivo en forma de puente-grúa que, colocado a 60 ó 90 m. del corte y elevando los vagones vacíos, daba paso a los cargados.

En las minas alemanas, durante la guerra, se ensayó con este mismo fin un «Jumbo», rebatible que, unido a una máquina cargadora de brazo largo, permite efectuar la carga del escombro por encima de él, sin necesidad de ser retirado.

Cada día se utilizan más las barrenas con broca cambiable, en lugar de forjada sobre la misma barrena. Estas brocas, de acero al carbono o de acero especial de horno eléctrico, tienen ventaja al atravesar rocas duras, no porque den mayores velocida-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

des de perforación, sino porque duran más tiempo afiladas y permiten reducir grandemente el número de barrenas en uso con cada corte, y, al mismo tiempo, reducen el diámetro con que se necesita «emboquillar» los barrenos largos para llegar al final con el diámetro preciso.

Cuando pierden el corte se afilan con muela de esmeril hasta 3 ó 4 veces, sin necesidad de nueva forja. Otra ventaja de estas brocas cambiables es que permiten utilizar para la barrenas acero más apropiado, resistente al choque, con lo que se consigue disminuir las roturas de barrenas.

Desde hace poco tiempo se utilizan en el corte de las barrenas plaquitas de carburo de tungsteno que se ha conseguido fabricar con suficiente resistencia al choque. Estas plaquitas se sueldan, bien a la misma barrena, o bien a las brocas cambiables. Sus ventajas son las mismas que las de las brocas de acero de horno eléctrico. Su uso todavía se limita a los martillos ligeros o semiligeros, ya que no pueden resistir golpes tan fuertes como los pesados.

En la perforación, la cantidad de polvo producida es muy grande, y sus perjuicios se disminuyen por tres métodos: Inyección de agua, gran corriente de aire de ventilación y máscaras protectoras. Ninguno de estos tres métodos es completamente eficaz; el que parece más perfecto, que es la inyección de agua, aparte de disminuir la velocidad de avance, no elimina totalmente el polvo más fino y, por tanto, más peligroso, aunque se trata de mejorar su eficacia mezclando al agua inyectada productos químicos que hacen que el agua «moje» al polvo producido. Por estas razones, se simultanea el empleo de varios de estos medios.

En América se suele dar como norma el empleo de más de 5,5 litros de agua de inyección y 34 m^3 de aire de ventilación, por minuto y martillo perforador grande: y más de 3 litros de agua y 14 m^3 de aire por minuto y martillo pequeño (menos de 3" de cilindrada). Si se disminuye la cantidad de agua inyectada es preciso activar la ventilación.

DISPOSICIÓN DE LOS BARRENOS

De la acertada disposición de los barrenos depende grandemente el avance conseguido por «pega». Hasta estos últimos años se empleaban, casi exclusivamente, las disposiciones llamadas de pirámide o de cuña, según las cuales, una serie de barrenos fuertemente cargados concurren en un punto o en una línea y su explosión simultánea arranca una pirámide o de cuña, según las cuales, una serie de barrenos fuertemente cargados concurren en un punto o en una línea y su explosión simultánea arranca una pirámide o una cuña de roca que facilita el trabajo de los demás que explotan después.

Estos dispositivos tienen el grave inconveniente de que el máximo avance que se puede obtener depende del ancho de la galería. Los tiros centrales, llamados de salida, que forman la cuña, se dan inclinados con relación al frente, y para que esté equilibrada su profundidad con la roca que deben arrancar, la inclinación debe ser aproximadamente 2 : 1, es decir, sus bocas estar separadas una longitud igual al avance de la pega. La perforación de estos barrenos exige un ancho de galería superior al doble del avance proyectado, o, lo que es lo mismo, el avance de cada pega es inferior a la mitad del ancho de la galería. En los grandes túneles no es inconveniente, pero en las galerías ordinarias de mina resulta un avance muy limitado que no permite aprovechar totalmente la capacidad de las máquinas cargadoras.

Hace una decena de años empezó a usarse en las minas de cobre de Michigán el dispositivo llamado por los americanos «Burn Cut», con resultados notables que han hecho que su uso se extienda a las demás minas metálicas, y últimamente, empieza a usarse en las minas de carbón.

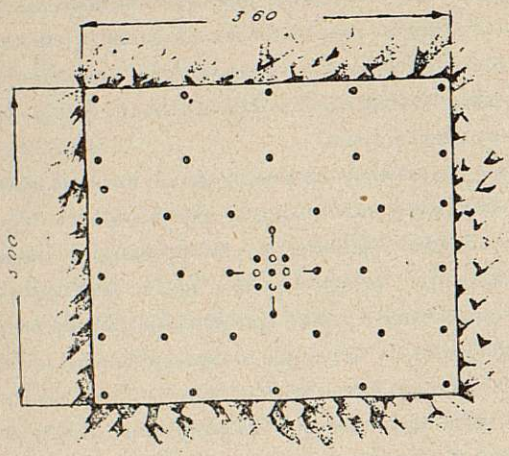
Este sistema consiste en dar una serie de barrenos muy próximos y perpendiculares al frente de la galería. De estos barrenos se dejan varios sin cargar, con lo que la explosión simultánea de los demás encuentra en ellos una línea de menor resistencia que facilita su salida. Los demás barrenos se disponen también perpendiculares o casi perpendiculares al frente, excepto los exteriores encargados de «cuadrar» la galería y que, como siempre, se dan algo divergentes.

Con este sistema, el ancho de la galería no limita la profundidad máxima de los barrenos, y el avance de la pega viene fijado únicamente por la dureza de la roca y por la potencia de los explosivos empleados.

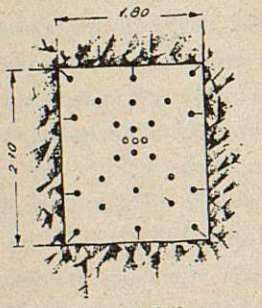
Como se desprende de las figuras que se adjuntan y que representan distintos ejemplos de este siste-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

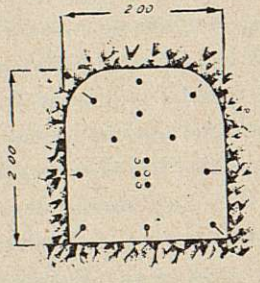
ma, los tiros de salida, en número de 6 a 9, se disponen según los vértices de unos cuadrados de unos 125 mm. de lado, acoplados entre sí, o bien en línea recta o en cruz; y lo mismo en uno que en otro caso



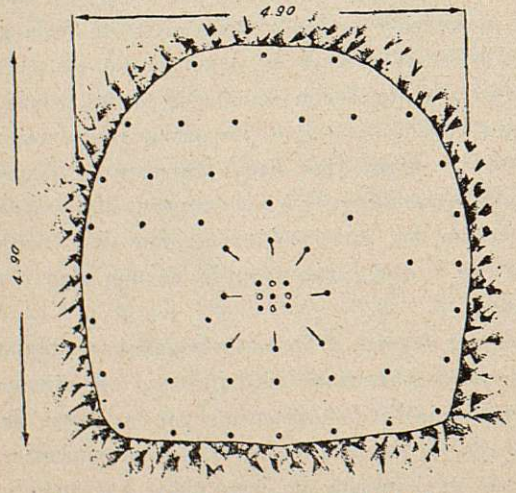
44 barrenos de 2,10 m.-Carga total: 65,75 kg.-Avance: 1,70 m. Consumo explosivos: 3,60 kg/m³



27 barrenos de 2,40 m.



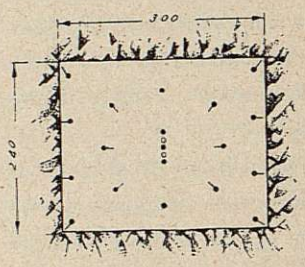
Hullera Española.-17 barrenos de 1,90 m.- Carga total: 15 kg. Avance: 1,60 m.- Consumo explosivos: 2,43 kg/m³



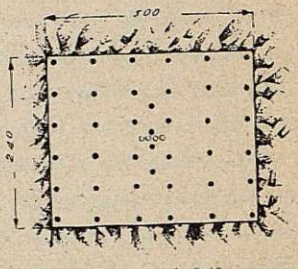
65 barrenos de 2,60 m.-Carga total: 106,6 kg. Avance: 2,40 m. (51 m²).-Consumo explosivos: 210 kg/m³

alternativamente se carga uno hasta unos 50 cm. de la boca y se deja el otro sin cargar.

Con este sistema se consiguen avances por pega hasta de más de 3 metros. En caso de rocas duras se necesita ensanchar el diámetro de los barrenos para concentrar en ellos las fuertes cargas de explosivo, que llegan hasta 5 kilogramos por barreno.



24 barrenos de 2,70 m.



48 barrenos de 2,40 m.

Da mejores resultados en rocas compactas que en las muy estratificadas. Generalmente, se precisa mayor longitud de barrenos perforados y mayor cantidad de explosivo por m³ de roca arrancada que con los otros dispositivos.

EXPLOSIVOS

El explosivo empleado debe ser denso, potente y de alta velocidad de explosión. Los explosivos para labores en roca en las minas grisuosas suelen ser suficientes con la mayoría de las rocas que se encuentran en las minas de carbón.

La dificultad en las minas grisuosas es la carga límite que fijan los reglamentos: en España, 1.000 gramos por barreno. En Norteamérica se ha estudiado el asunto y se ha visto que no es mayor el porcentaje de explosiones provocadas por las cargas grandes que por las pequeñas. Siempre empleando explosivos permitidos, se ha levantado el límite a 1.360 gramos, con las siguientes condiciones:

1.ª Los barrenos tendrán profundidad mayor de 1,80 metros.

2.ª Se emplearán únicamente cartuchos sin deformar, que hagan perfecto contacto entre sí, con el fondo del barreno y con el atacado.

3.ª Se investigará la existencia de grisú en la zona afectada antes y después del disparo.

4.ª El explosivo empleado debe estar catalogado

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

por el Bureau Of Mines, como productor de humos «poco tóxicos».

En Inglaterra, donde tan estrechos son los reglamentos, los inspectores de minas autorizan, en cada caso particular y con condiciones especiales, el empleo de cargas hasta de 1.360 gms., en lugar de los 790 gramos que fijan los reglamentos.

Creemos que en España debe estudiarse la cuestión y elevar la carga límite hasta 1.500 gms. en las condiciones que la seguridad aconseje. Parece mucho más peligroso el empleo de cargas de 1.000 gms. de dinamita núm. 1, con 70,50 % de nitroglicerina, que autoriza el art. 166 del Reglamento de Policía Minera, que el uso de cargas de 1.500 gms. de dinamita-goma especial 2.ª B. con 26 % de nitroglicerina, que es la que actualmente se fabrica.

Mientras no se autorice el empleo de cargas más elevadas, se puede resolver parcialmente el problema de las rocas duras, aumentando el número de barrenos y dando unos largos y otros cortos.

Con la carga máxima autorizada en Norteamérica, en la generalidad de las rocas encontradas en las minas de carbón se consiguen avances mayores de 2 metros por pega.

La explosión de los barrenos se efectúa siempre con detonadores eléctricos de retardo. Antes, se disparaban los tiros de salida por medio de detonadores instantáneos, volvía el artillero al frente y, después, disparaba el resto. Es evidente la ventaja en tiempo y en seguridad, resultante del empleo de los detonadores de retardo.

Actualmente está permitido el uso de los detonadores de retardo en toda clase de minas y en todos los países, con ciertas limitaciones referentes a distancia a las capas de carbón, cantidad de ventilación y retardo máximo, que suele estar fijado en 4 segundos.

Esta limitación del retardo tiene importancia en las galerías generales de transporte de las minas modernas que, por su sección, precisan de seis o más retardos. Se construyen actualmente los detonadores para disparar a intervalos de un segundo, lo que permite aprovechar totalmente las ventajas de los detonadores de retardo.

El Reglamento español nada dice de este asunto.

Hay que tener en cuenta que las características de los detonadores de retardo son distintas de las que tienen los instantáneos, por lo que no pueden disparar en la misma serie, sino que deben emplearse como instantáneos los denominados de retardo *O*. Estas mismas diferencias existen entre los detonadores de distintas marcas, que no deben mezclarse.

Contrariamente a lo que se hace con la pega con mecha, el detonador debe colocarse siempre en el primer cartucho introducido en el barreno para que la explosión anterior de un barreno próximo no arranque el cebo e impida la explosión de la dinamita.

Esta disposición, que en Inglaterra es obligatoria, está autorizada por el Reglamento español, siempre que se coloque en el fondo del barreno un taco de arcilla. Creemos que en un transversal esta precaución es excesiva, pero no así en el franqueo de una galería en dirección en la que se pueden producir grietas por efecto de la regadura, que comunicando con el fondo del barreno constituyen depósitos de grisú sumamente peligrosos.

Es imprescindible, para lograr el aprovechamiento total de la energía del explosivo, un buen atacado. De los experimentos hechos, tanto en el laboratorio como en la mina, se deduce que, contra la opinión general, el mejor atacado se hace con arena húmeda. Son sucesivamente menos eficaces la arena seca, la arena y arcilla mezcladas, y, finalmente, la arcilla.

El atacado con arena en cartuchos resulta incómodo en la práctica, pues la envuelta, que en las minas de carbón tiene que ser de papel ignifugado, se rompe fácilmente en el transporte y manejo. Fácilmente se puede hacer el atacado con arena suelta, empleando el inyector de arena «Noeux-Colinet», que trabaja con aire comprimido y cuyo uso se ha extendido muy poco hasta ahora.

El atacado se efectúa corrientemente con cartuchos sin envuelta de mezclas de arena y arcilla, con el mínimo de humedad necesaria para evitar su fragilidad. Si la mina es seca se puede añadir a la mezcla cloruro cálcico para que no se sequen los cartuchos almacenados en el interior y resulten quebradizos. Estos cartuchos se fabrican en el exterior con máquinas especiales.

El Reglamento español dice que el atacado se hará preferentemente con arcilla y tendrá longitud mínima de 50 cms., y admite también que el atacado se haga con 40 cms. de polvo incombustible y 10 cms. de arcilla. Estas prescripciones, como dijimos antes, no están de acuerdo con los experimentos, y la colocación

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

del taco de arcilla es completamente superflua. La longitud del atacado es, según los experimentos, independiente de la carga, y la de 50 cms. que fija el Reglamento es sobrado en cualquier caso.

Después del atacado se procederá a la conexión de los hilos de los detonadores.

El sistema de conexión depende de las características del explosor empleado. Si la pega se efectúa con corriente tomada de una línea de alumbrado o energía, los detonadores se conectan en paralelo; si se emplea un explosor, se conectarán en serie. Debe cuidarse que los empalmes no queden en contacto con la piedra para que no se produzcan derivaciones que hagan insuficiente la intensidad producida por el explosor, nunca muy sobrada.

Los hilos que unen los detonadores al explosor deben ser dos distintos, nunca un cable bi-filar, y deben colocarse aislados y bien separados entre sí, y preferiblemente en distinto hastial de la galería. Su sección, así como su naturaleza, se determinará de forma que la resistencia del circuito total no sea excesiva para la tensión producida por el explosor.

La potencia del explosor debe elegirse muy por encima de lo que corresponde al trabajo que tiene que efectuar, teniendo en cuenta que la mayoría de los detonadores fallados lo hacen por insuficiencia de la corriente recibida. La tensión producida por el explosor se calcula para que circule una intensidad mínima de 1,5 A., y mejor 2 A., teniendo en cuenta la resistencia de la línea y de los detonadores. Varía la de éstos, según la longitud y naturaleza de los hilos, entre 1,23 Ω para hilos de cobre, y 3 m. largo y 3 Ω para hilos de hierro de 1,20 m. (Du Pont).

Un detonador necesita para hacer explosión cierta cantidad de energía, o sea, que la intensidad de la corriente necesaria para el encendido y el tiempo de duración, son inversamente proporcionales; y así, una corriente de 0,60 A. durante 0,025 seg. y 1,5 A. en 0,001 seg., son justamente suficientes para asegurar el encendido de cualquier detonador. Por cuidadosa que sea la construcción siempre hay diferencias y hay detonadores que encienden antes.

Desde el momento en que un detonador se enciende hasta que se interrumpe el circuito, bien por fusión de la resistencia o bien por explosión del detonador, pasa un lapso variable según la intensidad de la corriente y variable también para cada detonador.

Con intensidades bajas hay detonadores que se encienden e interrumpen el circuito antes que otros más lentos tengan tiempo de encenderse, y, por lo tanto, éstos no explotan. Con intensidades mayores pasa lo contrario: el tiempo necesario para encenderse el detonador más lento es menor que el tiempo que tarda en interrumpir el circuito el detonador más rápido, y así hacen explosión todos los detonadores de la serie. El límite de estos casos ocurre (nos referimos a detonadores ingleses) con intensidad de 0,85 A., por lo que para asegurar la explosión de una serie de detonadores no debe bajarse de 1,5 A., y si la serie es grande y hay más probabilidades de encontrar detonadores de características extremas, no debe bajarse de 2 A.

Por lo que hemos dicho se comprende que no debe emplearse en la pega corriente alterna de forma senoidal (detonadores en serie), sino de forma rectangular, o mejor, corriente continua.

Se emplean varias clases de explosores: Unos, de tipo magneto o dínamo, accionados por una manivela o por un muelle de relojería, provistos los más perfeccionados de un dispositivo que no cierra el circuito hasta que la magneto ha alcanzado velocidad determinada. Otros, bien con magneto o con batería, cargan un condensador, y cuando tiene la carga conveniente, una luz indica que se puede cerrar el circuito por medio de un pulsador. Son preferibles los de tipo dínamo a los de batería, que se descarga y no da suficiente potencia al condensador.

Siempre debe tener el explosor o el circuito de corriente que hace sus veces una pieza de forma especial que se llevará el artillero, y sin la cual no hay posibilidad de producir la pega.

Antes de conectar el explosor a la línea conviene —en Inglaterra es obligatorio— comprobar el circuito midiendo su resistencia con un ohmímetro que produzca corriente, que ningún caso pueda exceder de 12 m. A. El generador puede ser de manivela o estar constituído por una pila de cloruro de plata. La medición de la resistencia del circuito no sirve para indicar si ha quedado algún detonador sin conectar, pues, si hay 10 ó más detonadores en serie, la suma de las resistencias de los detonadores varía en más que la resistencia de uno de ellos. Solamente indica

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

esta medición la integridad del circuito o empalmes defectuosos.

Esta medición debe hacerse siempre desde el lugar seguro donde se coloca el explosor, y nunca en el frente con los barrenos cargados.

VENTILACIÓN

La explosión de cantidades grandes de dinamita produce mucho humo cargado de gases tóxicos, como óxido de carbono y óxidos de nitrógeno, que hay que eliminar rápidamente para continuar trabajando; no hay que olvidar que estos humos quedan también encerrados entre el escombro arrancado y que se desprenden durante su carga.

La eliminación del humo se hace por medio de ventiladores auxiliares eléctricos o de aire comprimido acoplados a una tubería de chapa o de lona de 50 a 60 cm. de diámetro.

La cantidad de aire que se hace pasar por la galería es muy variable, pero puede tomarse como norma la que exije el Reglamento inglés, que son 7,6 m^3 de aire por metro cuadrado de sección de galería. Con esta cantidad de aire el corte de la galería queda limpio de humos en plazo de 10 a 15 m.

No están de acuerdo los Ingenieros sobre el sistema de ventilación, que puede ser aspirante o impelente.

En general, parece más conveniente la ventilación aspirante, pero tiene el inconveniente de que no permite el empleo de tuberías de lona, que es más fácil defender del efecto de los tiros, ya que al parar el ventilador se encoge la lona automáticamente. Parece que el método más rápido que permite reanudar el trabajo antes es disponer una tubería de ventilación por la que se inyecta aire hasta el corte, y otra por la que se aspiran los humos desde la mitad de la galería avanzada.

Facilitan la evacuación de los humos inyectores de agua que se disponen a unos 10 metros del corte y que funcionan en el momento del disparo.

CARGA DEL ESCOMBRO

La carga del escombro, manualmente, es labor lenta y penosa, por lo que se han ideado varias máquinas que realizan este trabajo con gran rapidez.

Estas máquinas pueden dividirse en dos clases, según empleen como elemento de carga un «conveyor» o una cuchara.

Las de tipo «conveyor», como «Joy», «Godman», «Jeffrey» y «Meyers-Whaley» consisten en uno de cadena montado en forma de rampa, en un armazón sobre oruga; a ambos lados del «conveyor», unos brazos giratorios socavan el montón de escombro y lo ponen al alcance del «conveyor». Estas máquinas son grandes y pesadas, 8 a 10 toneladas; están provistas de motor eléctrico de 25 a 50 HP y cargan unas 3 a 5 Tm. Ideadas para la carga de carbón, sufren gran degaste en la de escombro.

La cargadora «Conway», de tipo mixto, es más apropiada para grandes transversales. Consiste en una cuchara que, al girar sobre un eje muy bajo, descarga su contenido en un «conveyor» de cinta, que con pequeña inclinación gana la diferencia de altura hasta el borde del vagón. Está montada sobre vía, y necesita para funcionar una altura de galería de 1,77 m. y un ancho de 1,80 m. Tiene de peso 7,5 Tm. y está accionada por un motor eléctrico de 20 HP. Carga teóricamente 0,65 m^3, y prácticamente, teniendo en cuenta el tiempo perdido por cambio de vagones, se pueden calcular 380 l/minuto.

El tipo de cargadora más apropiado para las galerías de sección ordinaria es el de cuchara, y a él pertenecen las cargadoras «Eimco», «Sullivan», «Gardner»-Denver», etc., que difieren entre sí únicamente en pequeños detalles. La idea fundamental de estas cucharas es hacer variar el eje de giro de la cuchara en su movimiento sobre la máquina, para bascular sobre el vagón colocado detrás sin necesidad de alcanzar gran altura. Esto se consigue substituyendo el giro por una rodadura sobre un sector de forma apropiada. Está provista de dos motores de aire comprimido: uno, para el movimiento de la cuchara, y otro, para el movimiento de traslación del aparato sobre los carriles.

El maquinista, montado en un estribo de la máquina y con la cuchara por delante, embiste al montón de escombro y, cuando se llena la cuchara, le hace dar vuelta basculando sobre un vagón que, enganchado a la máquina, la sigue en su avance. El maquinista puede desviar lateralmente la cuchara para alcanzar todo el ancho de la galería y, en el movimiento de giro, se centra automáticamente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El peso de estas máquinas es de 2.000 a 3.500 Kg., según el tipo, y necesitan para trabajar una altura de galería de 1,80 a 2,40 m. y alcanzan un ancho de excavación de 1,95 a 2,20 m. La capacidad de carga práctica es de 150 a 500 l/m., según el tipo de la máquina y según el tamaño del vagón. El consumo de aire comprimido a 5 ½ atmósferas, es de 1,9 a 2,8 m^3 para el tipo pequeño, y 2,8 a 4,2 m^3/m. para el tipo grande.

RESULTADOS OBTENIDOS

Con la mecanización completa de todos los trabajos y una perfecta organización, se pueden obtener velocidades de avance realmente asombrosas. La mayor velocidad conocida hasta ahora es la conseguida en el túnel Carlton, en Norteamérica, perforado en granito, con longitud de 9.753 m. y sección de 2,4 × 2,8, a la velocidad media diaria de 14,40 m. La perforación se efectuó con 5 martillos de 3 ½ de cilindro, montados en un «Jumbo». Se tarda, término medio, 1,77 horas en montar el «Jumbo», perforar, retirar el «Jumbo», cargar y atacar los tiros. En la carga del escombro de la pega, realizada con cargadoras «Eimco», se empleó 1,79 horas. En total, en 3,58 horas se dispara y carga una pega de 2,50 m. En la mina se obtienen avances bastantes más reducidos porque, generalmente, hay más dificultades y menos medios.

En una mina inglesa, al poco tiempo de introducir un «Jumbo» con 4 martillos y una cargadora «Joy», se logró un avance medio diario de 4,87 metros.

Generalmente, se perfora, dispara y carga una pega completa de 1,80 m. de avance por relevo, repartido el tiempo del modo siguiente:

Colocación del «Jumbo»	0 h. 15 m.
Perforación y desmonte del «Jumbo»	2 » 25 »
Carga y atacado	0 » 55 »
Conexión y explosión	0 » 25 »
Limpieza de humos	0 » 15 »
Carga de escombro	2 » 00 »
Colocación de las vías y de la tubería	0 » 35 »
Total	6 h. 50 m.

El consumo de explosivo es 1,5 a 3 Kg. por m^3 de roca arrancada.

EXPERIENCIA PROPIA

Vistos estos resultados, quisimos probar el «Burn Cut» en un transversal de 2 × 2 m. a través de pizarras y areniscas blandas.

La primera dificultad fué el perforar los tiros perpendiculares al frente, próximos entre sí, de forma que conserven la distancia sin emplear soporte de ninguna clase. Esto se resolvió utilizando una mesilla de las que se emplean para introducir en la mina madera de entibación, sobre la que se puede montar un andamio a dos alturas distintas; con una traviesa sobre el piso del andamio se consigue otra altura intermedia.

Con el martillo arrastrado por el piso y empujado por los pies del barrenista sentado, de la forma que se perforan ordinariamente las «zapateras», se consigue fácilmente dirigir los barrenos sin cansancio para el barrenista.

Otra dificultad fué la falta de detonadores de retardo; quisimos, primeramente, hacer los disparos con mecha, pero resultó que la explosión de un tiro de salida arrancaba los cebos de los demás y estropeaba la pega. Por eso decidimos emplear detonadores eléctricos instantáneos para los tiros de salida, y mecha para los demás, teniendo cuidado de dar fuego a los detonadores eléctricos, cuando ya se había quemado bastante mecha de los otros para que no la pudiesen cortar, midiendo el tiempo por la combustión de otro trozo de mecha de igual longitud. Esta operación es más sencilla de lo que parece por su descripción.

Como creíamos necesario convencer al personal obrero desde la primera pega de las posibilidades del método, precisábamos exceder la carga límite, por lo que elegimos para hacer las pruebas un transversal en una zona de la mina con circuito de ventilación independiente de toda labor en carbón.

Elegimos como disposición de los barrenos la indicada en el respectivo croquis.

Primeramente, vista la imposibilidad de perforar todos los barrenos en una jornada, con la presión de aire de que disponíamos y el martillo de construcción nacional de 2 3/8" de cilindro, dimos únicamente los 6 tiros de salida a los dos más próximos, con profundidad de 2,20 m. Disparados estos tiros, dieron un «cuele» de 1,80 m., que completada la pega fué fácil franquear.

Después de varios ensayos, decidimos dar la pega

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en un relevo, empleando 3 obreros con 2 martillos de las características arriba indicadas, quienes en ocho horas de trabajo perforan 17 tiros, los cargan, atacan y disparan.

Con un relevo de descanso, 2 vagoneros cargan el escombro producido. Por cada metro de avance se obtienen unos 9 vagones de escombro de 850 l. de capacidad, y la pareja de obreros cargan normalmente 12 vagones en la jornada de 7 horas. Al tener bastante trabajo para 3 vagoneros, decidimos limitar el avance de 1,60 a 1,70 m. por pega, y obtuvimos 14 a 15 vagones de escombros que descargan en ocho horas de trabajo.

El consumo de explosivo por pega es de 10 Kg. de dinamita-goma, segunda especial B., y 5 Kg. de dinamita de seguridad núm. 2.

Las pruebas no han sido suficientemente largas para dar una velocidad media de avance, pero se puede garantizar, con roca de dureza media, un avance superior a 1,60 m. diarios. Con roca muy dura hemos encontrado dificultad para perforar los tiros necesarios en la jornada de 8 horas, por lo que se reduce el avance.

Actualmente hemos dispuesto el trabajo a destajo, con lo que creemos se superarán las dificultades de las rocas duras que todavía no hemos encontrado desde que implantamos esta modalidad, pero ya hemos logrado suprimir el ayudante de barrenista en el relevo de perforación, que realmente no hace más trabajo que dar descanso a los barrenistas substituyéndolos en su labor.

La dificultad del trabajo a destajo surge por la tendencia de los barrenistas a aumentar la velocidad de avance, que produce un exceso de escombro que los vagoneros no pueden cargar.

Si hacemos el cálculo sobre este mínimo de 1,60 metros de avance por pega, resulta que por metro de transversal se consumen 9,4 Kg. de explosivo y 2,88 jornales de 7 horas.

Creemos que si se dispone de buenos martillos y buena presión de aire, se pueden dar tiros más largos y conseguir un avance por pega de 1,80 a 1,90 m., aumentando únicamente un obrero en el relevo de carga de escombros. El consumo de dinamita aumentará a 17,50 Kg. por pega, y resultará un gasto de 10 Kg. de explosivo y 3,16 jornales por metro de transversal. El cálculo está hecho sobre un avance de 1,80 m. por pega.

Claro es que, disponiendo de «Jumbos» y de cargadoras, conseguiríamos un resultado semejante al conseguido en el extranjero: un avance aproximado de 1,80 a 2 m. por relevo, con consumo de 10 Kg. de explosivo y 2,25 a 2 jornales por metro.

Antes de emplear este método realizábamos el avance de transversales de la forma ordinaria, disponiendo los barrenos de forma adecuada para aprovechar los planos de crucero o de estratificación de la roca como líneas de resistencia que facilitan el arranque.

Este procedimiento tiende a disminuir al mínimo el número de barrenos, lo que tenía gran importancia en los tiempos en que se barrenaba a maza, pero que hoy tiene valor muy limitado con los martillos rápidos de que se dispone. Para ello se precisan obreros hábiles que conozcan la roca y que aprovechen todas sus debilidades; obreros de los que hoy casi se carece. Con los actuales se obtienen avances diarios muy limitados.

Hemos dado transversales con distintas organizaciones de trabajo. Con un relevo de perforación compuesto de 2 hombres y otro de carga también de 2 obreros, obtuvimos avances de cerca de 0,80 m. por día, pero a precio muy elevado por mal aprovechamiento de la mano de obra.

Con un solo relevo de 2 hombres, que perforan después de haber cargado el escombro procedente de la pega anterior, empleando para ello las horas extraordinarias que se precisen, se obtienen resultados más económicos con avance algo menor.

Con esta última organización obtuvimos un transversal de roca de dureza media un avance diario de 0,63 m. (promedio de 6 meses), empleando por metro 3,80 jornales y 7,31 Kg. de explosivos.

Comparados estos resultados con los obtenidos por nosotros con el «Burn Cut», sin medios apropiados, se ve que hemos conseguido velocidad de avance mayor que el doble de la anterior, con costo aproximadamente igual, pues el aumento de dinamita compensa la disminución de los jornales con los precios actuales.

Si la comparación la hacemos con los resultados que se obtendrían disponiendo simplemente de buenos martillos perforadores y buena presión de aire, la velocidad es aproximadamente 3 veces mayor que con los métodos actuales y el costo ligeramente menor.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Con «Jumbos» y máquinas cargadoras, la velocidad que se podría obtener trabajando a 3 relevos sería de 7 a 8 veces la actual.

CONCLUSIÓN

Con los métodos modernos se pueden obtener velocidades de avances de transversales varias veces mayores que las actuales, y, esto, sin necesidad de emplear obreros especializados.

Para ello se precisa, primeramente, reformar el actual Reglamento de Policía Minera, especialmente el art. 166, que fija la carga límite por barreno en las minas grisuosas, y elevarla a 1.500 grs.

Para aprovechar totalmente las ventajas de estos métodos deben emplearse detonadores eléctricos de retardo, máquinas cargadoras y «Jumbos», que actualmente no se construyen en España, aunque los «Jumbos», más o menos perfectos, se pueden construir en cualquier taller.

Aun sin maquinaria moderna y, simplemente, con detonadores eléctricos, se obtienen ventajas notables sobre los métodos ordinarios.

Con estos métodos se acortaría extraordinariamente el período de preparación de las minas nuevas, y a costa de muy ligero aumento de las importaciones, rápidamente se pondrían en explotación, con lo que se lograría la producción carbonífera que España necesita para el normal desenvolvimiento de su industria, y que muchos estudios han demostrado pueden dar las minas españolas.

Ujo, 20 de junio de 1949.

Después de la lectura del resumen del trabajo precedente, se procede a la del número 287 siguiente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

N.º 287. - Geofísica y radiactividad

Autor: D. JOSÉ GARCÍA SIÑERÍZ
Ingeniero de Minas

I.—LA PROSPECCIÓN RADIACTIVA

El uranio y el torio son dos elementos que están muy dispersos en la Naturaleza. Su contenido medio en la corteza terrestre es del orden de 4.10^{-6} y 14.10^{-6}, respectivamente. No obstante, en determinados lugares y en condiciones adecuadas, se aprecia tendencia a una concentración, que ha producido criaderos de elevado interés industrial. En términos generales, se pueden clasificar en cinco grupos fundamentales:

1.º Criaderos de substitución, de pechblenda y radio. Sus minerales tienen riquezas de más de 1 % de $U_3 O_8$. Cuando están oxidados contienen autunita carnotita y otros productos de oxidación de las pechblendas. Muchos de ellos poseen colores brillantes. Las formaciones más conocidas son las del Dorado (Canadá); Shinkolodwe (Congo Belga); ambas explotadas por los Estados Unidos; Joachimsthal y otros depósitos en el distrito de Erzgebirger (Checoslovaquia) y en Alemania, que son explotados por la U. R. S. S. Estos tipos de criaderos pueden contener cantidades importantes de plata, de cobre y de cobalto.

2.º Criaderos de carnotita y roscoelita, como los minerales de uranio y vanadio del Colorado. Estos criaderos sólo tienen importancia en el país mencionado y son inferiores como menas de uranio. Se presentan en areniscas horizontales y actualmente su laboreo forma parte de los planes de explotación de la Comisión Americana de Energía Atómica. Son aceptables si poseen un contenido mínimo de 0,10 % de de $U_3 O_8$ y se da prima por el $V_2 O_5$ si la proporción en que existe este óxido no excede a diez veces la de óxido de uranio. El criterio para su beneficio es variable. En unas ocasiones se beneficia el vanadio y se obtiene el uranio como subproducto; otras veces, se beneficia directamente el uranio.

3.º Uranio de los minerales auríferos de Witwarersrand de África del Sur. El uranio aparece como elemento accesorio en estos conglomerados auríferos, por lo que se espera poderlo utilizar como subproducto.

4.º Pizarras petrolíferas con uranio y otros sedimentos marinos. Los sedimentos marinos, capas petrolíferas, capas de fosfatos, etc., tienen cantidades muy pequeñas de uranio, pero son utilizables industrialmente. El uranio procedente de las capas petrolíferas de Suecia sirvió para la preparación de un reactor nuclear por existir allí muchos millones de toneladas de mineral con 0,02 % de $U_3 O_8$. Estas forma-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ciones se extienden hacia el Noreste en la dirección de Estonia y Leningrado.

El uranio, subproducto de los criaderos de fosfatos, se puede utilizar perfectamente en las aplicaciones de la energía atómica.

5.º Las pegmatitas con muy pequeñas cantidades de pechblenda y los placeres con algo de uranio (generalmente, torianita), algunos con monacita y otros tipos de minerales, son considerados como de menos importancia.

En España poseemos famosos criaderos de óxido de uranio, en las imponentes corridas pegmáticas que existen en la Sierra de la Albarrana, en los términos municipales de Hornachuelos y Fuenteovejuna. Son los más importantes de la Península y de los primeros del mundo.

Por métodos directos sólo se ha podido estudiar radiactivamente la corteza del Planeta hasta la profundidad de 5.000 metros, máxima alcanzada en algunos sondeos petrolíferos, profundidad insignificante comparada con el espesor de la corteza terrestre. Indirectamente se conoce la composición radiactiva de las rocas que existen a decenas de kilómetros de profundidad, por los afloramientos de rocas análogas en los diversos continentes. Del resto del Planeta se puede deducir su radiactividad y se ha fijado el contenido en uranio, torio y plomo, tanto en la corteza como del manto, según se ha explicado en los Cursos de Radiactividad del Instituto Nacional de Geofísica.

Es extraordinaria la importancia de los estudios radiactivos de la corteza terrestre desde el punto de vista minerometalúrgico. En algunos casos han permitido descubrir menas como el petróleo que, aparentemente, no se esperaba tuviesen relación con la radiactividad, y se han puesto en explotación zonas que dan de 200 a 1.000 barrriles de petróleo por día, en concesiones que estaban a punto de ser abandonadas. En el Norte de Texas, se encontraban en estas condiciones determinados campos, pero la empresa petrolífera propietaria, organizó su «Radiactivity Surveys» y ha conseguido obtener 900 barriles diarios.

Es de gran utilidad la determinación de la radiactividad en zonas amplias de una formación litológica, por ser un auxiliar tan bueno o quizás mejor que los métodos eléctricos o sísmicos para establecer correlaciones, por las ventajas que tiene sobre aquellos.

Algunos accidentes geológicos tienen la particularidad de acumular productos de desintegración radiactiva, que favorecen su identificación. En la fig. 1.ª se ve las posibilidad de efectuar localizaciones de fallas, contactos y fracturas de algunas venas minerales. El primero en observar estas particularidades fué Ambronn, en el estudio de las fallas de Blankerburg (1921) y en

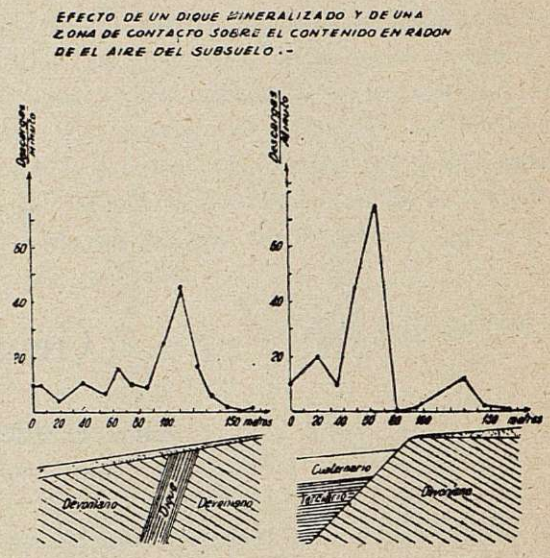


Fig. 1

una vena de mineral de hierro en Ilfeld (Montañas de Harz). También resulta sumamente fácil la localización de las zonas mineralizadas con menas que tienden a aumentar la actividad como son los sulfuros.

Es interesante el conocimiento de la actividad media de los diferentes tipos de rocas que figuran en el cuadro adjunto.

CONTENIDOS EN TORIO Y RADIO

	Ley	
	Torio 10-5 (g·g)	Radio 10-12
Lavas La Reunión		
Basalto	0,432	0,54
Sienita cuarcítica	~ 0	2 73
Labradorita	< 0,05	0,29
Traquita	0,660	1,59
Basalto plagio-clásico	0,342	1,11
Vesubio		
Lava reciente	~ 0	12,3
» con sublimación	0.621	12.8
Volcán fósil de Arthur Stat et Ecosse		
Diabasa cuarcitífera	0,094	0
Lava devoniana	0,189	0,63

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

	Ley	
	Torio 10-5 (g:g)	Padio 10-12
Región de Puys		
Andesita cuaternaria	0	1,63
Gneiss	< 0,05	2,65
Granito Puy de la Vache	0,073	1,95
Granito de los Altos Vosgos		
Granito Santa-María	1,80	7,89
Porfiroide de anfiboide	2,79	3,76
Granitos de los Vosgos Lorenenses		
Br. C.	0,74	10,35
Diorita cuarcitiva	0,375	2,39
Roca fresca (Biarville le Mensil)	0,144	5,98
Gneiss		
Arena Tholy (Aluvión)	0,127	0,96
Gneiss tomados en Tholy G. Th. I.	0,086	1,73
Tapps y Grauwackes		
Trapp. abigarrado	0,137	3,96
Términos de transición. I.	0,802	5,80
Gr. Rothenbach	2,0	9,36
Granitos del Morvan		
Granulita de Chaumeçon	0,853	5,5
Roca del Chien	0,595	7,55
Mont-Doré		
Basalto Plioceno	0,067	2,24
Andesita augítica de Hornblenda	0,148	3,65
Fonolita Pliocena	1,911	2,84
Gneiss	0	4,63
Macizo del Cantal		
Brecha andesítica	0,069	3,92
Andesita básica	0	0,74
Velay y Menzenc		
Escorias	1,11	0
Basaltos orgués d'Espaly	0,337	2,25
Fonolita	2,188	4,02
Volcanes de Alsacia		
Basalto Gundershoffen	0,434	0
Riolitas		
Rosskopf Rho	3,7	2,0
Arcillas		
Arcilla Ml	14,33	5,81
Arcilla M_2 (excepcional)	37,51	46,8
Dioritas		
Dioritas I	0,270	3,55

Además de en el petróleo, asfalto y carbón, se encuentran huellas de radiactividad y de helio procedente de la desintegración, en algunas aguas que contienen extraordinaria riqueza en radón, sin poseer otros elementos radiactivos como no sean los derivados de este elemento.

La radiactividad de las diversas rocas varía con bastante amplitud. Como ejemplo se tiene la enorme actividad de las rocas potásicas que, pasando por las pizarras, desciende a las areniscas, calizas o dolomitas, con actividad del orden del 1 % de las correspondientes a las primeras.

Las técnicas de prospección radiactiva se dividen en dos grandes grupos: 1.º Comprende las investigaciones efectuadas en el laboratorio, tanto a partir de las muestras tomadas en el terreno, como de los testigos de los sondeos. 2.º Abarca los trabajos ejecutados en el campo, tanto superficiales como en profundidad.

Puede decirse, que de manera sistemática, no se efectuaron medidas de radiactividad hasta el año 1905, en el que se puso de moda el estudio radiactivo de los túneles.

La primera de las técnicas indicadas consiste en la clásica toma de muestras del terreno, para su posterior estudio en el laboratorio, tanto de rocas plutónicas como sedimentarias; campo que ha adquirido importancia extraordinaria, con el estudio de los testigos de los sondeos.

El estudio de las muestras en el laboratorio tiene la enorme ventaja de determinar claramente si la actividad es alfa, y, por consiguiente, si se trata de minerales de uranio o de torio. Estas medidas son, en general sencillas, precisas y baratas. Se pueden utilizar con este fin el electroscopio y el contador G. M. con ventana de mica para precisiones mayores, por tener la particularidad de ser poco afectados por la radiacción gamma.

La técnica más extendida en la actualidad, con vistas a la prospección radiactiva, es la del estudio de las rocas insitas, por ser más económica, aunque imprecisa, si se trata de menas de uranio, por la dificultad de apreciar claramente el efecto de la radiación alfa. En estas prospecciones se mide, en unas ocasiones, la concentración relativa de radón en la superficie aire-suelo, en otras, la actividad penetrante, consecuencia de la desintegración radiactiva, practicando un sondeo pequeño o haciendo una succión de gases. Hay una técnica muy extendida que es la testificación gamma de los sondeos con resultados sumamente interesantes, reconocimiento que se puede efectuar aunque los sondeos tengan revestimiento. Pueden diferenciarse perfectamente las arenas porosas, por ser poco radiactivas, de las pizarras, por su actividad elevada.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La práctica de las mediciones de radiactividad con contadores en el laboratorio, superficie o labores mineras, se asemejan, en general, a todas las que se efectúan con otro fin, pero las que tienen carácter específico son las testificaciones de los sondeos.

La testificación radiactiva de rayos gamma en los sondeos es sumamente interesante, por permitir reconocer los contactos de dos formaciones por su cambio de radiactividad, aunque el sondeo esté revestido; enorme ventaja sobre el método de la testificación eléctrica.

La testificación efectuada con cámara de ionización o con contador, es debida a la posibilidad del paso de corriente cuando el gas de la cámara se hace conductor por la ionización producida por las radiaciones. Esta corriente es amplificada y transmitida por un cable al exterior donde nuevamente se amplifica y registra.

Es factor fundamental la velocidad del registro, que debe ser de 500 m/hora, para no emplear tiempo excesivo en esta operación. La escala de registro debe ser adecuada al problema que se estudia y debe oscilar entre 2 m/cm. a 20 m/cm. La escala de amplificación también es variable y se emplea tanto mayor, conforme aumenta el espesor del revestimiento. Con el objeto de alcanzar mayores precisiones en la localización de las formaciones, se aconseja que el registro se efectúe en sentido ascendente, relacionada la polea por donde se desplaza el cable con el registrador de profundidades.

El registro radiactivo no está afectado por aceites, aguas, barros, etc. La curva que representa la variación sólo se puede considerar como indicación relativa y no se admite como valoración absoluta de la radiactividad. Esas curvas tienen bastante parecido con las correspondientes del potencial eléctrico, principalmente, en los sondeos en areniscas y pizarras, que son casi análogas.

Es necesario tener en cuenta que los espesores anormales de revestimiento producen cambio de radiactividad en más o menos, según disminuya o aumente el espesor de aquél. Se debe recordar que como en extensión es menor la variación de la radiactividad que la de las propiedades eléctricas, el método radiactivo es mucho mejor para estudiar la correlación de las formaciones.

La prospección por métodos radiactivos se aplica intensamente en el terreno. Pueden citarse, entre otros, los casos siguientes: Fijación de los límites de una formación. Determinación de concentraciones de minerales radiactivos en el subsuelo y localización de mineles radiactivos en la superficie. Localización de formaciones petrolíferas. Determinación de fallas y de contactos. Situación de menas minerales, correlación de formaciones a largas distancias. Información para estudios estratigráficos, en general, así como los de la porosidad y localización de irregularidades.

Los trabajos de prospección radiactiva han alcanzado extraordinaria importancia gracias a los progresos de la técnica, que han permitido construir aparatos de manejo rápido, fácil y seguro para testificación de sondeos, así como para los estudios en superficie. Para estos últimos existen aparatos que pesan pocos Kgs., de transporte fácil y cómodo, que son una maravilla de la técnica. Algunos cuentan con más de 20 microlámparas, equipados con osciladores, que dan tensiones de 1.000 voltios a partir de baterías de 135 voltios, con lo que se reduce el peso considerablemente, además de calentarse y estar en condiciones de funcionar en menos de cinco minutos.

Es un error creer que con los métodos radiactivos de prospección se pueden resolver cuantos problemas se presenten. Es necesario en muchas ocasiones, para alcanzar el buen éxito, asociarlos con otros; los eléctricos, los más generales. Por el método de resistividades se pueden localizar zonas favorables a la existencia de un mineral determinado, y por los radiactivos, limitar las de bonanza, lo que reduce el campo reconocido eléctricamente al que verdaderamente ha de interesar al minero.

Vamos a considerar como ejemplo el caso de las célebres carnotitas del Colorado. El mineral forma parte de una arenisca que arma entre las pizarras. Encima están los terrenos modernos de recubrimiento. El vanadio se encuentra como cementación de la arenisca, en lentejones, así como en los contactos de las pizarras y en algunas franjas que existen entre las areniscas. Junto con el vanadio se presenta en las mismas areniscas un mineral de color amarillento, que es la carnotita, y que, algunas veces, da la sensación de que existen seudomorfosis de restos vegetales que tienen diámetro de algunos decímetros y longitudes, en algunos ejemplares, hasta 30 metros.

Por el método de resistividades se puede determinar perfectamente las zonas correspondientes a las arenis-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cas y al hacer los sondeos, por medio de la radiación gamma, localizar dentro de esas masas las zonas correspondientes a enriquecimientos de carnotita.

Las medidas radiactivas de las areniscas que contienen la carnotita no son de interpretación fácil, dado que, a distancias de hasta 6 mts. por encima del mineral radiactivo, dan fuerte radiactividad gamma, sin señal alguna de mineralización, debido a que el radón, al ser desprendido de la carnotita, asciende por la arenisca y, como tiene período pequeño, se transforma rápidamente en depósito activo. Este fenómeno no ocurre en la superficie, debido a que en ella el radón tiende a pasar a la atmósfera.

Por esta razón, toda concentración de carnotita debe tener una especie de aureola en el terreno en la que existen radón y derivados invisibles, que se ponen al descubierto mediante un reconocimiento con contadores G. M. de radiación gamma. Las aureolas subsisten después de explotada la carnotita.

La geofísica aplicada no se debe considerar como una ciencia suficiente para resolver cualquier problema; es sólo un medio científico de obtención y selección de datos sumamente útiles para evitar gastos superfluos, que conduce al fracaso de los que olvidan estos principios.

II.—LA RADIACTIVIDAD DEL PETRÓLEO

Los primeros pasos para relacionar la radiactividad y el petróleo, fueron dados por el Prof. S. Lind, de Minneápolis, en 1925, al emitir su hipótesis relativa a la importancia de las radiaciones en la génesis de los petróleos.

Por la acción de las descargas eléctricas, de las radiaciones ultravioletas y de los rayos alfas, sobre el metano, consiguió obtener productos con complejidad análoga a la del petróleo. Ello no obstante, se ha hecho una objeción a las investigaciones de Lind por no haber podido encontrar el hidrógeno en los productos gaseosos secundarios, que se obtienen en gran cantidad en la síntesis. Admitido que se pueda encontrar una explicación a tal hecho, estas síntesis no suelen ser petróleos idénticos a los naturales. En ellos, los hidrocarburos, representan las partes más predominantes, pero, además, existen siempre compuestos más complejos que contienen azufre, nitrógeno y oxígeno y que llegan a representar más de un cuarto del peso total. Los citados compuestos tienen estructura específica muy característica, que se encuentra también, fuera de los petróleos, en los cuerpos de organismos vivientes animales o plantas.

Los petróleos no son solamente una mezcla de hidrocarburos, como se dice generalmente y como piensa Lind. Una explicación completa del origen de los petróleos debe servir para toda su composición y no solamente para su parte principal; hacer la síntesis de los hidrocarburos no es hacer la síntesis de los petróleos.

El origen biogénico de los petróleos está admitido hoy día y este origen explica las particularidades de su estructura. Los petróleos tienen su origen primario en la materia que ha constituído los cuerpos de miriadas de seres pertenecientes a centenares de especies vegetales y animales. Todas estas especies, así como los individuos que las constituyen, tienen su composición química propia.

Los rayos alfa, como ha supuesto Lind, pueden desempeñar acción fundamental en la génesis de los petróleos; actúan no solamente sobre el metano, sino sobre los múltiples hidrocarburos y sobre los cuerpos análogos que se elaboran en los organismos vivientes y sobre los compuestos que se forman a partir de aquéllos después de su transformación en petróleo, por los procesos metamórficos.

El mecanismo de esta transformación no está completamente conocido en la actualidad, y se admiten acciones bioquímicas y microbianas, así como las de las radiaciones alfa.

La radiactividad de las pizarras bituminosas obliga a admitir la influencia del uranio en los procesos de su formación, según los estudios de Lexow y Maneschi. En el Instituto de Tecnología de Massachussets se ha sometido a la acción de las partículas alfa, emanadas del radón a ciertos ácidos grasos, con lo que llegaron a obtener hidrocarburos semejantes al petróleo. El mismo efecto se logró en el ciclotrón del mencionado Instituto, por bombardeo con neutrones.

El ucraniano Burxer ha efectuado interesantes valoraciones cuantitativas de radio sobre las plantas y animales vivientes, que han permitido comprobar la existencia de radio, en todos los organismos, plantas y animales, sobre los que las determinaciones fueron ejecutadas.

En los organismos acuáticos, y, en particular, sobre

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

las cinco especies de Lemna estudiadas, así como para los moluscos, se ha comprobado que los seres vivos concentran el radio y que son decenas e, incluso, centenas de veces más ricos en radio que el agua de los medios en que viven. Se ha podido comprobar en las especies de Lemna la existencia de un segundo isótopo del radio; el mesotorio 1. Se puede establecer la conclusión de que los organismos vivientes, así como la materia orgánica después de la muerte de aquéllos, debe ser considerada manantial de radiación alfa.

Son interesantes los trabajos de Svedberg que comprobó que la *Holoturia* extrae el uranio del agua de mar, la cual contiene uranio en la proporción de 0,15 a 0,22 mg por m^3, este organismo, al morir, incorpora el uranio asimilado al sapropelio en formación, para dar lugar a las pizarras bituminosas. Se debe indicar que también puede proceder el uranio de su incorporación como sulfuro de uranilo insoluble en agua, aunque, tanto esta procedencia como la anteriormente indicada, puede extrañar, por ser elemento con tendencia normal a la descomposición.

Es necesario tener en cuenta que, dado el período tan pequeño del radio, mil setecientos años, la cantidad de éste que se puede encontrar en los restos de los seres vivientes en el período geológico anterior al nuestro (200 m. de a.) es inapreciable, si no coexistieron con cantidades importantes de uranio y para ser reconocido es necesario hacer los análisis sobre seres contemporáneos del hombre. En los más antiguos, además del uranio y quizás del radio si no coexiste con sus predecesores, se encuentra plomo radiogénico, procedente de la desintegración del radio y del uranio que encontraron los seres en vida.

Tanto en los seres vivos como en sus restos, se ha encontrado el uranio, lo mismo sean contemporáneos que en los de otros ciclos geológicos, lo que demuestra son manantial ininterrumpido de radiaciones alfa.

Las materias órgano-húmicas, asfálticas y bituminosas ejercen potente absorción sobre los átomos de uranio y de torio; fenómeno paralelo a la absorción de átomos de potasio por los aluminosilicilatos caolínicos, elementos también radiactivos necesarios para la vida y fundamento de la fertilidad del suelo.

Como consecuencia de esta absorción, los sapropelios, origen de futuros petróleos y pizarras bituminosas, concentran los átomos de uranio en la biosfera. La absorción parece ser proporcional al tiempo. Por la acción directa o indirecta de la vida de las materias carbonosas orgánicas, origen material de los petróleos, representan al mismo tiempo un productor continuo de radiaciones alfa con generación de los correspondientes átomos de helio.

Como ejemplo de la existencia de uranio en las asfaltitas, citaremos el de Utach, donde el $U_3 O_8$ alcanza el 1,75 %. En algunos lugares han sufrido profundas alteraciones en la intemperie, con desaparición de la mayor parte de la materia orgánica y han quedado concentrados algunos depósitos de hidróxidos de uranio, vanadato de uranio y vanadato doble de Ca y Uranio. En formaciones análogas en los montes del Perú se encuentra uranio. También se apreció en cantidades considerables en asfaltitas procedentes de varias minas al Sur de la provincia de Mendoza, en la Argentina.

Son de interés los trabajos del físico-químico Svedberg sobre reconocimiento del uranio en algunas pizarras bituminosas, que, incluso se trata ahora de explotar industrialmente como mena de uranio. En Suecia, el carbón sedimentario denominado «Kolm» da en sus cenizas leyes de 1,0 a 3,0 % de $U_3 O_8$.

Por los estudios de Dunstan y sus colaboradores se valoró el contenido de uranio en las cenizas de los petróleos persas que resultó ser el 0,6 % de nitrato de uranilo, así como en los argentinos de Tupungato.

Además de la pregunta referente a la actuación de la radiación alfa en el origen del petróleo, se puede hacer otra. ¿Existe relación entre los yacimientos petrolíferos y los yacimientos de helio?

Es un hecho cierto, que en muchos mantos gaseosos, ricos en helio, como los de Canadá y Estados Unidos, este gas sólo representa el 8 % del volumen; el resto de los gases dominantes corresponde al carburo de hidrógeno, metano en primer lugar, nitrógeno y anhídrido carbónico.

Se ha comprobado que los yacimientos ricos en helio están siempre situados en una región petrolífera, aunque no todas las regiones petrolíferas lo posean; quizás lo hayan tenido y se perdió por la permeabilidad de las rocas, que aumenta considerablemente con la temperatura, o bien, por fracturas o accidentes geológicos. Se ha comprobado que, a la temperatura de los 200°, las masas silíceas sólidas y los silicatos amorfos, son permeables al helio, lo que permite a este gas emigrar de las partes internas y calientes del Planeta

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y concentrarse en la parte más fría. Parece que los conocimiento actuales de la ciencia no se oponen a que este helio tenga su origen bajo la forma de rayos alfa, tanto en los medios en que existen rocas eruptivas ricas en uranio y torio, como donde existen materias que den petróleos como producto final. Es evidente, que las condiciones de acumulación de helio en las rocas sedimentarias, son, en general, idénticas a las condiciones de acumulación de gases hidrocarburados y, en primer lugar, a aquellas de los yacimientos petrolíferos.

Es un hecho sumamente interesante, que en la región petrolífera de Oukhta, el NE. de Europa y a profundidades de varias centenas de metros, contienen las muestras una ley en radio de 10^{-11}. Con leyes semejantes existen otras aguas relacionadas directamente con yacimiento petrolíferos, como la alemana de Heidelberg y la de Kreuznach. También se ha comprobado una particularidad interesante, y es que, en general, este tipo de aguas contiene además de radio los isótopos de la serie del torio, mesotorio *l* y torio *x* y carecen de uranio y de torio.

En el yacimiento petrolífero de Groznyj existen aguas extraordinariamente ricas en radio, su ley es de 10^{-9} a 10^{-10}, cantidad considerablemente superior a la que existe en las rocas eruptivas ácidas, las más ricas que existen en radio. Con estos datos se ve el enorme interés que tiene el estudio sistemático de la radiactividad de las aguas saladas subterráneas para establecer su relación con los mantos petrolíferos.

La existencia simultánea de radio, mesotorio *l* y torio *x* en las aguas sin uranio y sin torio, demuestra que se trata de una emigración química del radio y que puede provenir de dos orígenes diferentes: 1.° De materias orgánicas, de restos orgánicos vivientes y, en fin, de petróleos que presentan productos de metamorfismo; 2.° De rocas ácidas de origen granítico. En este último caso, sería natural, que, aunque no en los macizos graníticos mismos, pero sí en las rocas sedimentarias, que provienen de su destrucción, existiesen aguas con este tipo de radiactividad, las cuales no se encuentran.

Consideramos que el estudio radiactivo de los petróleos es de enorme interés. Si el radio y el mesotorio *l* están relacionados genéticamente con los petróleos, se deben encontrar los átomos de uranio y torio en aquéllos. Si, al contrario, estos átomos son retenidos por las rocas sedimentarias, se deben buscar las concentraciones elevadas en las materias orgánicas bituminosas, que parece no se encuentran más que en estas rocas.

Se puede hacer una observación, y es que el período del mesotorio *l* es algo menos de siete años, y el del torio *x* no llega a cuatro años; por lo tanto, el torio no puede estar muy alejado del punto por donde discurren estos tipos de aguas.

La energía radiactiva de estas aguas se debe manifestar, no solamente por la formación del helio, producto final de la radiación alfa y por el efecto térmico, sino por una serie de nuevos fenómenos químicos. Se debe esperar la producción de oxígeno libre profundo por descomposición de moléculas de agua.

En resumen, los fenómenos más diferentes indican que las mayores masas de helio se deben encontrar en las regiones petrolíferas. En las aguas saladas y en las salinas de estas mismas regiones, los átomos de radio y sus isótopos tóricos se concentran por emigración desde 10^{-13} a 10^{-10} de radio.

Es de gran interés organizar sistemáticamente la investigación científica, con el fin de efectuar valoraciones de radio, mesotorio *l* y torio *x*, en las aguas subterráneas saladas de todas las zonas supuestas petrolíteras. Determinar la ley en uranio y torio de los organismos vivientes, y estudiar la absorción de estos dos elementos por los restos orgánicos y la materia órgano-húmicas.

Es preciso estudiar la radiactividad de los petróleos y seguir experimentalmente la acción de los rayos alfa sobre la materia orgánica, teniendo en cuenta las condiciones de metamorfismo, que parece corresponder a su génesis.

Como se ve, el programa es muy vasto, y el geofísico no puede pasar hoy por alto problemas radiogeológicos de importancia tan considerable para la economía de todos los países.

III.—LOS ELEMENTOS RADIACTIVOS, COMO INDICADORES

Con fines de prospección, así como para todos los problemas relacionados con ella, se emplean los indicadores radiactivos, fijos o móviles con dos técnicas distintas.

Los indicadores fijos, se suelen utilizar, en general, como referencia, principalmente en los pozos petrolíferos; los indicadores móviles se emplean para la re-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

solución de problemas como el de identificación de filtraciones de agua y otros análogos.

El objeto de utilizar substancias radiactivas como indicadores en los sondeos, parte de la necesidad de localizar con precisión un punto determinado; problema de fundamental importancia en las investigaciones petrolíferas, donde se debe fijar una capa respecto a la testificación eléctrica o con relación a otra, sin tener importancia la profundidad precisa respecto a la boca del pozo. Sin estos indicadores, se presentan grandes dificultades para la situación en la columna estratigráfica de la caña del sondeo, de los instrumentos de trabajo, por la influencia considerable que ejerce sobre la longitud total del material utilizado, la tensión, temperatura y calibración del medidor de profundidad.

Si se considera como ejemplo una profundidad de unos 3.000 m., el efecto de la tensión y el térmico que corresponde a un aumento de temperatura de 30° da un incremento de la longitud del cable de 2,5 m. que equivale aproximadamente a 1 por 1.000, o sea, que el punto identificado se registra como si estuviese a una distancia de la boca de sondeo menor que la real, en cerca de 3 m.

Algunas veces, al comparar la longitud del cable con que se mide la profundidad, con la correspondiente a los tubos de revestimiento, puede suceder que ambos no coincidan, por no haber indicado los tubos hasta el fondo del sondeo, o porque, en realidad, existe diferencia entre ambas mediciones.

Para localizar un punto del subsuelo, se recurre, como se ha mencionado, a los indicadores radiactivos, que deben estar, como máximo, a la distancia de 30 metros, para que sea despreciable en este tramo el alargamiento del cable, tubo, etc. De esta manera, el error que se obtiene es menor del 5 % de la distancia entre el indicador y el punto; error que, como se ve, es aceptable.

Los indicadores de sondeos necesitan ser sencillos y de colocación fácil, para no aumentar al maestro de sonda, sobre las dificultades propias del sondeo, las asociadas a las manipulaciones de estos indicadores. El prospector necesita, al mismo tiempo, identificar fácilmente la situación del indicador, sin que la vida de éste sea inferior a la del sondeo o pozo, para que, en cualquier momento, pueda repetirse la localización del punto deseado. También es preciso que los indicadores sean pequeños, para obtener mayor precisión en la localización de los puntos.

Los primeros indicadores fijos que se usaron fueron los magnéticos y térmicos; pero posteriormente, se pudo apreciar una superioridad destacada a favor del empleo de los indicadores radiactivos, hasta el punto de ser los únicos que se utilizan en la actualidad.

Los indicadores radiactivos, empleados con éxito excelente en todos los campos petrolíferos del mundo, consisten en una fuente de rayos gamma, originados por una sal de radio. Las radiaciones que emiten son capaces de atravesar varios decímetros de cemento y acero, descubrirse fácilmente y durar más que los pozos, condición que está cumplida siempre, por ser el período del radio de 1.600 años.

En la técnica de los indicadores radiactivos fijos es preciso distinguir tres puntos, que son: el indicador propiamente dicho, su colocación y de detección.

El indicador radiactivo consiste en una cápsula de latón que contien 0,1 mg. de radioelemento, con una radiación registrable por el detector, medio metro antes de llegar al punto en que está colocado. Su radiación es lo suficientemente intensa para dominar el fondo natural del terreno, que es casi totalmente absorbido entre el acero y el cemento del revestimiento del sondeo.

La capsulita de latón se coloca dentro de un proyectil pequeño de acero, que se dispara desde el tubo profundizador. Otras veces, se coloca en manguitos de aluminio.

Efectuado el taladro del sondeo, se debe proceder a la testificación eléctrica e inmediatamente a la colocación de los indicadores radiactivos. Puede efectuarse la toma de muestras laterales del terreno, al mismo tiempo que se hincan en él los indicadores radiactivos, mediante el mecanismo disparador. Estos se colocan muy mal en las zonas de capas que se derrumban fácilmente, por desprenderse con ellas, y, en cambio, se pueden colocar bien en los terrenos arenosos.

La colocación de los indicadores, se efectúa con la ayuda de una pequeña carga de pólvora, que es suficiente para hincarlos en los hastiales, aunque se trate de calizas. Es aconsejable la colocación en cada zona de tres o cuatro indicadores radiactivos, a intervalos cortos dentro del tramo que interesa, dado que, si se perdiese alguno de ellos, que suele ser fácil, quedasen los otros después de efectuado el revestimiento; el or-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

den de las pérdidas es el 5 % de los indicadores en los terrenos blandos, y el doble, o sea, el 10 % en los duros.

Aunque los indicadores no se pierdan, puede ocurrir que se desplacen y, entonces, ser falsas sus referencias, por eso es preciso, antes de proceder al revestimiento del sondeo, comprobar si están en su verdadera posición o si se han movido, a causa del tránsito por el sondeo del equipo de perforación.

El último punto que precisa considerar es la detección o localización del indicador radiactivo. Esta operación se efectúa con un aparato denominado detector, que, al pasar frente al indicador radiactivo, produce, en el registro correspondiente, fuerte desviación de la gráfica correspondiente. El detector ha de estar construído para trabajar perfectamente con las condiciones extrarodinariamente fuertes del trabajo a que ha de estar sometido. Ha de ser capaz de resistir, en condiciones normales de funcionamiento, temperaturas superiores a los 150° y presiones mayores a los 900 kilos por centímetro cuadrado.

La misión del detector es doble; ha de detectar a los indicadores radiactivos y los ha de relacionar en profundidad respecto al revestimiento. El detector sólo ha de registrar las radiaciones intensas con el objeto de evitar errores; por eso, su sensibilidad será baja. Además, se calibra previamente en la superficie con un testigo radiactivo fijo, para evitar la influencia de la radiactividad natural (fig. 2.ª).

Como, en todo sondeo es fundamental operar rápidamente, para no encarecer excesivamente el costo, el detector radiactivo ha de estar construído de manera que pueda efectuar el reconocimiento de cada sondeo a una velocidad del orden de 500 m/h. Con esta velocidad se localiza el indicador 15 cm. por debajo del punto correspondiente, con respecto al punto medio del registrado en la gráfica, para el mismo.

Es aconsejable que la profundidad de un sondeo se refiera a la curva de testificación eléctrica, la que servirá siempre como referencia final. En la curva se puede efectuar la medición de los intervalos entre los indicadores y verificar las diferencia de medidas, realizadas con el cable o recurriendo a los indicadores, diferencias que son sensiblemente constantes para cada profundidad.

Establecida esta correlación, se tiene el medio de localizar en los campos petrolíferos las capas de algunos centímetros de espesor, que, a veces, dan producciones interesantes. Es suficiente un error en la medida de la profundidad de 30 ó 40 cm., para que no se la pueda explotar.

Los indicadores radiactivos, unidos al equipo completo de colocadores y detectores, que han de ser de manejo sencillo, seguro y rápido, pueden resolver los problemas de medición de profundidades que se le pre-

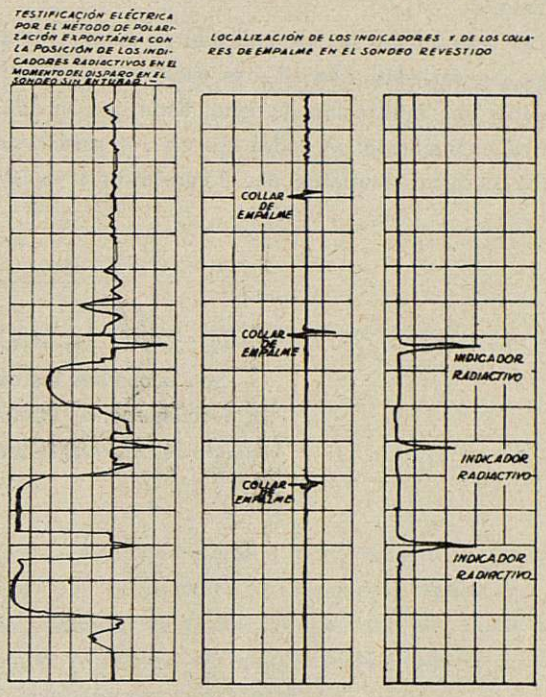


Fig. 2

senten al geofísico y al minero, y localizar cualquier punto de un sondeo, preferentemente con respecto a otra capa, que siempre tiene más importancia que referirlo a la superficie, además de ser excelentes auxiliares para las investigaciones petrolíferas.

Por medio de los indicadores radiactivos se pueden relacionar los puntos de un sondeo con la testificación eléctrica, identificar zonas de contacto de formaciones, aumentar la eficiencia de los sondeos, situar perfectamente zonas o capas delgadas, mantener referencia constante de los trabajos en profundidad, aunque sufra variaciones la boca del sondeo y mantener indicadores permanentes que quedan relacionados con la testificación eléctrica.

Otra de las aplicaciones de los indicadores radiactivos fijos, es la medición de los espesores de los revesti-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mientos de los sondeos. Para esta aplicación se mezcla el cemento que se ha utilizar en el revestimiento, con una substancia radiactiva, que suele ser un mineral de uranio, de manera que la mezcla tenga una riqueza en este elemento de 1 en 1.000 a 1 en 10.000. La mezcla se inyecta a presión en el sondeo y, con el detector radiactivo, se observa un aumento de la radiactividad en las zonas en que aumentan los espesores de revestimiento.

Las aplicaciones de los indicadores radiactivos móviles son variadas. Con ellos se puede conocer perfectamente una infiltración de agua, dado que, si ésta se activa previamente, se podrá apreciar si pasa o no a otros conductos acuíferos, por el aumento o la constancia de la radiactividad. De esta manera se ve substituído el antiguo método de las materias colorantes, por el de los indicadores radiactivos.

IV.—*CONCLUSIONES*

1.° Debe fomentarse en España la investigación de formaciones radiactivas de interés, por medio de los contadores de prospección, tanto en equipos de lectura directa en el terreno, como con equipos de testificación en sondeos.

2.° Debe fomentarse el empleo de indicadores radiactivos en las diversas clases de labores mineras.

Son aceptadas las conclusiones de este trabajo. A continuación el Presidente de la Sección resume la labor realizada y levanta la sesión a la una de la tarde, proponiendo se continúe a las 4,30 de la tarde.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

ACTA DE LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 29 DE MAYO DE 1950
(Continuación.)

Bajo la misma presidencia se continúa la sesión a las 4,30 de la tarde, comenzándose por la lectura del trabajo siguiente:

N.º 133. - El titanio, metal del porvenir

Autor: D. RAFAEL CALVO RODÉS
Ingeniero Aeronáutico

El hombre primitivo no exigía a sus instrumentos de trabajo otra condición que poseer elevada dureza, capaz de vencer la que poseían los objetos trabajados. Aquéllos constituían, pues, la más simple expresión de la herramienta, y, por ello, la piedra pudo constituir durante mucho tiempo el material básico de aquella era.

La piedra, sin embargo, pese a la elevada dureza que algunas variedades poseen, carece de una propiedad importante: la capacidad de deformación, lo que trae consigo, por una parte, que la configuración de los instrumentos haya que realizarla mediante la talla y el desgaste y, por otra, elevada fragilidad, por lo cual, a pesar de su resistencia para *soportar* esfuerzos, carece de tenacidad para *absorber* energía y se rompe fácilmente por choque.

El descubrimiento de los metales constituyó formidable avance precisamente por esta magnífica y peculiar particularidad del carácter metálico: su facultad de deformación sin rotura, y, lo que es casi tan importante, el aumento de resistencia que experimentan por la deformación.

La facultad de deformarse no sólo proporciona tenacidad, sino que permite dar configuración a las piezas por deformación, y aunque la aplicación del calor permitió la fusión y obtención de piezas por moldeo, pronto se vió que la forja producía resultados más seguros y perfectos.

En cuanto a la facultad de aumentar la resistencia al deformarse tiene dos consecuencias importantes: autoprotege al metal, el que, si rebasamos su resistencia en un momento dado, se deforma sin romperse, y aumenta su resistencia y, además, nos permite incrementar la dureza y resistencia de utilización de una pieza metálica mediante un trabajo de deformación.

Estas cualidades básicas y las demás características metálicas han hecho de los metales la base de nuestra civilización, permitiendo evolucionar a nuestros instrumentos de trabajo desde simples herramientas a complejísimas máquinas, motores, vehículos, etc.

Cuanto más han avanzado los instrumentos de trabajo, mayores han sido las exigencias en las propiedades de los materiales y mayores los progresos que ha habido que realizar, primero en la Metalurgia,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y luego, en la Metalotecnia, pero es curioso observar que, a pesar de la progresión acelerada de exigencias, los mismos metales primitivos, el hierro y el cobre, han sido capaces de responder durante muchísimos años, hasta estos últimos tiempos, a lo que la industria exigía. Tanto era el avance en que se hallaban las posibilidades en relación con las progresivamente crecientes necesidades de la industria. Claro está que esto no quiere decir que solamente se utilizaran estos metales; por una parte, estos metales fundamentales no se empleaban puros, sino en aleaciones, las más diversas; por otra parte, también en aplicaciones especiales se empleaban otros metales con carácter industrial, como el níquel, el cinc, el plomo y el estaño y aleaciones de ellos, pero la base de la industria seguía perteneciendo al hierro y al cobre.

Los primeros intentos de modificar este estado de cosas introduciendo otros metales con carácter básico se plantean cuando la industria, impulsada, principalmente, por necesidades aerotécnicas, empieza a exigir ligereza con resistencia. El aluminio y el magnesio hacen su aparición en el campo industrial; ambos son abundantes en la Naturaleza, su peso específico, muy bajo, los señala como aptos para servir de base de aleaciones ligeras; sólo su metalurgia es difícil y costosa, pero esto no es problema que detenga al hombre acuciado por la necesidad. Las dificultades se resuelven, y hoy se producen estos metales a precios enteramente comerciales.

Pero en la marcha vertiginosa de nuestro progreso industrial los primeros buenos éxitos son prontamente desbordados y la demanda de características se muestra insaciable, agotando rápidamente las posibilidades que cada progreso técnico permite. Sólo durante algunos años las aleaciones ligeras evolucionando a composiciones complejas, descubriendo tratamientos de bonificación que mejoran sus características y los aceros especiales complejos mantienen aún el prestigio de los metales respondiendo a las demandas de la técnica.

En el momento actual se llega al paroxismo, y los progresos técnicos exigen a los materiales características y condiciones de trabajo que parecerían absurdas hace sólo algunos años. Cesaron ya los años, tranquilos para el metalurgista, en los que las posibilidades estaban muy por delante de las exigencias y, si algo retrasaba el progreso, no eran ciertamente dificultades de los materiales de construcción. Hoy, ocurre lo contrario; la solución de muchos problemas científica o técnicamente resueltos sólo espera, para ser un hecho, materiales que soporten las condiciones que se exigen.

Y, ¡qué condiciones son éstas! No nos conformamos ya con aumentar la resistencia y disminuir el peso. Ahora parece que tratamos de marchar contra los fenómenos más característicos de los metales. Sabemos que existe la fatiga, y exigimos que los metales trabajen en esfuerzos vibratorios. Sabemos cómo disminuye la resistencia con la elevación de temperatura y pedimos que los metales trabajen a temperaturas cada vez más altas. Conocemos la fluencia y queremos evitar deformaciones con cargas elevadas que actúan permanentemente a altas temperaturas. Sabemos los efectos de la oxidación y corrosión e intentamos que los metales trabajen, precisamente, en medios oxidantes y corrosivos. Y, como de ello depende el progreso, hay que resolver los problemas.

Lógico parece que el metalurgista, agotadas las posibilidades de los metales hasta ahora empleados como básicos, busque la solución de sus problemas en nuevos metales hasta ahora poco apreciados, sin más condición que la de que su relativa abundancia garantice buen rendimiento a los estudios y esfuerzos que para su obtención se realicen. En esta situación aparece el titanio.

EL TITANIO

El titanio no es ni una novedad ni es el único de los metales en que se han fijado los metalurgistas. Si ha podido interesar su estudio, también ha interesado el del glucinio, el del zirconio, el del molibdeno, etc. Pero el titanio es extraordinariamente abundante, ya que ocupa el cuarto lugar de los metales existentes, después del aluminio, el hierro y el magnesio. Es 60 veces tan abundante como el cobre y 100 veces lo que metales como el cinc, estaño, plomo, etc.

Descubierto a fines del siglo XVIII, durante mucho tiempo sólo se tuvo en cuenta como impureza enojosa en los minerales de hierro. Más tarde, ha venido uti-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

lizándose como materia empleada en la fabricación de pinturas.

En la época actual empezó a utilizarse como metal de adición, especialmente, en las aleaciones ligeras, donde pequeñísimas cantidades mejoraban las cualidades de aquéllas por el afino del grano y por su actuación como agente endurecedor en los procesos de maduración. Estas adiciones son tan sólo de 0,15 a 0,30 por 100. Su acción, por tanto, es más bien mecánica que metálica.

Aun en los aceros es empleado también por su acción desoxidante y de afino de grano, semejante a la del vanadio y en adiciones, asimismo, mínimas.

Pero, cuando se han empezado a estudiar sus propiedades como metal industrial, se le ha empezado a prestar atención notable, ya que sus propiedades son de las más interesantes.

En efecto, el titanio es metal que funde a temperatura extraordinariamente alta, 1.725° C.; la mayor de los metales industriales, ya que el hierro funde a 1.535° C., el níquel a 1.455° C. y el cobre a 1.086° C. Esto nos permite esperar buenas características para trabajo a altas temperaturas, tanto en resistencia como en fluencia.

Su peso específico es 4,5 gr/cm³; es decir, casi la mitad del hierro (7,87 gr/cm³) y sólo una mitad más del del aluminio (2,7 gr/cm³). Tiene aptitud para formar aleaciones, si no tan ligeras como las del aluminio o magnesio, bastante más ligeras que los aceros. Ello, unido a su alta resistencia mecánica, que alcanza 91 kg/mm² con la máxima acritud, contra los 70 kg/mm² máximo del hierro y los 18 kg/mm² del aluminio, da lugar a muy elevada relación resistencia-peso, que será, en el titanio 20, en el hierro 9, en el aluminio 6 y en el magnesio 14. Esto nos permite esperar su aplicación en aleaciones ligeras del orden de resistencia de los aceros y de mayor rendimiento, en cuanto a resistencia-peso, que las de magnesio y aún que las de aluminio de muy alta resistencia en las que el coeficiente no pasa de 21,5 en las más resistentes al cinc.

Por otra parte, el módulo de elasticidad es de 11.000 kg/mm², aunque inferior al del hierro, 20.300, es bastante superior al del aluminio, 7.000, lo que permite buena rigidez elástica. Su coeficiente de dilatación es muy pequeño, $8,5 \times 10^{-6}$, contra $11,7 \times 10^{-6}$ del hierro y 24×10^{-6} del aluminio, que asegura poca deformabilidad al calor.

Finalmente, a todas estas características satisfactorias hay que agregar muy elevada resistencia a la corrosión, en la que muestra resistencia análoga a la del acero inoxidable 18/8.

Comparación de características entre el Ti y otros metales:

COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ENTRE EL «Ti» Y OTROS METALES

METAL	Temperatura fusión	Dilatación por °C	Módulo elasticidad Kg/mm²	Densidad G. × cm³	Resistencia de rotura Kg/mm² (1)	Relación. Resistencia-densidad
Titanio	1.725°	$8,5 \times 10^{-6}$	11.000	4,51	91	20
Hierro	1.535°	$11,7 \times 10^{-6}$	20.300	7,87	70	9
Níquel	1.440°	$13,3 \times 10^{-6}$	21.000	8,90	80	9
Cobre	1.080°	$16,5 \times 10^{-6}$	11.000	8,90	52	5,8
Aluminio	657°	$23,9 \times 10^{-6}$	7.000	2,70	16	6
Magnesio	651°	26×10^{-6}	4.500	1,74	24	14

(1) En máxima acritud.

Tantas y tan buenas cualidades sólo presentan en contra la gran afinidad química del titanio por otros cuerpos, especialmente por el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno. Ello dificulta extraordinariamente su metalurgia, que, hoy por hoy, constituye problema aún no resuelto con carácter industrial económico, ya que un kilogramo del metal cuesta hasta ahora unos 12 dólares. Pero esto no debe desanimarnos; 40 dólares costaba el kilogramo de aluminio en su infancia y hoy sólo cuesta unos centavos. La abundancia del

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

titanio es un buen premio para que nos esforcemos en descubrir la técnica de su metalurgia.

Como consecuencia de sus cualidades se puede prever la amplia utilización del titanio en la industria aeronáutica, en la que tan severas características se exigen a los materiales, con vistas a las siguientes aplicaciones:

a) Como metal-base para la formación de aleaciones ligeras, a las que puede superar en rendimiento por su alta relación resistencia-peso.

b) Substitución del acero con ventaja de peso. Hoy, cuando los aviones supersónicos de perfiles de ala finos imponen el aprovechamiento del espacio disponible, hay que utilizar muchas veces el acero en substitución de aleaciones ligeras, más voluminosas para igual peso. El titanio podría reemplazarlas sin el aumento de peso que supone el acero.

c) Substitución de los aceros inoxidables con indudable ventaja de peso en piezas sometidas a la corrosión atmosférica y salina.

d) Como metal apropiado en la fabricación de piezas que trabajan a temperaturas medias, que no excedan de 450° C., como culatas, émbolos de motor de explosión, compresores, etc.; piezas que hoy se fabrican con aleaciones ligeras, y, que mediante el titanio, no sólo aumentaría su resistencia en caliente, sino que podrían admitirse más altas temperaturas de utilización.

e) Posiblemente será un metal útil para aleaciones resistentes al calor a altas temperaturas, pues, si bien la afinidad del titanio por el oxígeno lo hacen inadecuado, por su oxidación, como metal puro, aleaciones con pequeños porcentajes de aluminio o de silicio o de Cr. retrasan considerablemente su oxidación hasta 800° C., y debe esperarse que aún puede mejorarse tal propiedad en futuras aleaciones.

f) Por su gran resistencia eléctrica puede ser muy apto para substituir las actuales aleaciones, como el nicrom, etc.

METALURGIA DEL TITANIO

Los minerales de titanio que principalmente abundan en la Naturaleza son la ilmenita $(Ti,Fe)_2O_3$ y el el rutilo TiO_2.

Ambos son difíciles de reducir por la gran estabilidad que posee en óxido de titanio. Por otra parte, su gran afinidad por el oxígeno dificulta su fusión, que requiere operar en el vacío o en atmósferas inertes.

El desarrollo actual que está adquiriendo la metalurgia en alto vacío, ya utilizada ampliamente con el magnesio, y que empieza a extenderse en su aplicación al titanio, permite esperar un futuro progreso próximo en la metalurgia de este metal.

MÉTODO KROLL

Hasta ahora el método más desarrollado es el de Kroll, empleado por el Bureau of Mines (EE. UU.), que reduce el tetracloruro de titanio mediante el magnesio metálico, obteniendo un titanio esponjoso para ser utilizado, bien en polvo, o mediante su fusión.

La reducción del tetracloruro se opera a unos 850° C., en hornos con una cámara de hierro cerrada y en atmósfera de helio a presión de media a una libra para evitar la oxidación del titanio en la cámara de reacción. Esta cámara está atravesada por su tapa por un tubo de alimentación por donde se introduce el cloruro de titanio sobre el Mg. contenido en la cámara de reacción.

Los productos de la reacción son cloruro de magnesio, fundido y titanio metálico, esponjoso, con algo de magnesio no utilizado en la reacción. Conviene operar siempre con exceso de magnesio, ya que, si hubiese exceso de cloruro de titanio en contacto con el titanio metálico formado, podría producirse cloruro titanoso o, también, producir cloruro ferroso que reacciona con las paredes de la cámara. En general, se añade un 10 por 100 más del magnesio necesario para la reacción.

Para extraer el titanio metálico de la cámara de reacción al finalizar ésta, se barrena la masa sólida de la cámara en un torno, y las virutas así obtenidas son tratadas por ácido clorhídrico diluído para disolver el exceso de magnesio y el cloruro magnésico formado, y son después trituradas en un molino de bolas y tamizadas, con lo que se obtiene un polvo de titanio relativamente fino, como producto final.

Este método de obtención de polvos de titanio ha sido empleado en la Boulder City Experiment Station del Bureau of Mines y ninguna dificultad se ha hallado para obtener el metal mientras la cantidad

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

no pasaba de las 130 libras. La obtención en mayor escala motivó serias dificultades debida principalmente al calor de reacción, que no podía ser disipado fácilmente y que originaba la ebullición del Mg. Esto daba lugar a que la zona de reacción pasara de la superficie del baño de Mg. al punto de encuentro del vapor de Mg. con el cloruro de titanio, o sea, al extremo del conducto de alimentación. Entonces, al calor de la reacción desarrollado junto a la tapa, daba lugar a que ésta reaccionase con el titanio metálico, formándose la eutéctica *Fe-Ti* de bajo punto de fusión que goteaba sobre la masa de reacción. Dos procedimientos fueron empleados para disminuir el calor de reacción; en el primero, se introducía paulatinamente al Mg. en lingotes, a fin de que el proceso de su fusión fuese absorbiendo el calor de reacción que simultáneamente se producía, y, en el segundo, mediante un dispositivo de descarga giratorio para que el cloruro de titanio estuviese en la zona de reacción en gran área y que el calor engendrado pudiese alcanzar más rápidamente las paredes de la cámara de reacción para ser absorbidas. Con tales artificios se ha podido llegar a la obtención de 220 libras por operación; para aumentar esta cantidad requiere resolver el problema de absorción de calor en nueva forma hasta ahora no conseguida.

IMPUREZAS DEL TITANIO

Las principales impurezas del titanio producido en Boulder City son Mg, Cl, Fe, Mn, H y O. El Mg y el Cl, se deben a la inclusión del cloruro de magnesio y de magnesio metálico en la esponja de titanio, durante la reacción. El polvo de titanio contiene de 0,4 a 0,5 por 100 de Mg. y de 0,1 a 0,15 de cloro. El contenido del Mg. puede llegar a reducirse hasta un 0,05 por 100 calentando el polvo de titanio en el vacío durante dieciséis horas a unos 1.000° C. El Cl no es apenas afectado por este calentamiento, pero desaparece casi por completo con la fusión del polvo de titanio.

El Fe se debe a las cámaras de reacción, que son de acero. El calentamiento en el vacío, e incluso la fusión, no elimina el Fe, pero su contenido en el metal puede regularse durante la obtención del titanio, operando a altas temperaturas, y con mucho Mg aumenta la cantidad de Fe, y asimismo también es peligrosa la obtención de las virutas de la cámara de reacción cuando se opera próximo a la superficie de la misma en la extracción del titanio. El tratamiento con ácido, como se ha indicado, debe efectuarse sobre las virutas de titanio y permite eliminar en parte Fe, y ello tanto más cuanto más alta sea la temperatura, y también añadiendo pequeñas proporciones de floururo de sodio al ácido clorhídrico. Como el aumento de temperatura y la adición del floururo origina aumento de hidrógeno en el polvo, se opta, más bien, por prolongar el tiempo del tratamiento con el ácido, manteniéndolo durante veinte horas a unos 180° C. Con tales precauciones, y en especial, evitando exceso de temperatura en el proceso de obtención del titanio, la cantidad de Fe será inferior al 0,1 por 100. El Mn entra como impureza en el Mg que suele contener un 0,1 por 100, aproximadamente, de Mn. Esta impureza no es alterada, ni por el lavado en ácido, ni por la «sinterización» en vacío, y sólo se reduce ligeramente con la fusión en el vacío. Como el primer titanio que se forma en la cámara de reducción contiene más Mn que el que se va formando después, puede reducirse esta impureza despreciando el primer titanio formado, pero esto tiene el inconveniente de que reduce el rendimiento de la operación.

Resulta preferible emplear Mg que no contenga Mn. En trabajo experimental se ha podido obtener Mg con menos de 0,1, por 100 de Mn.

El hidrógeno es absorbido por el polvo de titanio durante la operación de lavar en ácido. Dependen sus proporciones de diversas variables: cantidad de Mg libre después de la reacción, temperatura de tratamiento en ácido, cantidades de titanio disuelto durante esta operación. El contenido de hidrógeno es, normalmente, de 0,1 por 100, cuando las operaciones se realizan en forma conveniente. Un calentamiento del polvo de titanio durante unas cuantas horas a 800° C. permite disminuir el contenido en hidrógeno hasta unas milésimas por ciento, en peso, lo cual, aunque parezca pequeña proporción, es preciso tener en cuenta que equivale a un volumen de hidrógeno por un volumen de metal, lo que, a veces, es suficiente para producir dificultades.

El oxígeno es la impureza más importante por su influencia en las propiedades mecánicas, y, desgra-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ciadamente, no hay método preciso para determinar su contenido, si bien se considera que éste oscila entre 0.05 a 0.1 por 100 en peso. Métodos de análisis para su dosificación se hallan en estudio. Parece que la esponja de titanio producida por purificación en vacío y no expuesta ninguna a disolución acuosa, tiene menos oxígeno que el polvo de titanio obtenido y tratado con ácido; posiblemente ello es debido a que la estructura esponjosa del titanio retenga la humedad y compuesto hidratado del Mg después del tratamiento en ácido, lo que aumenta su contenido en oxígeno. Debido a ello se instalan equipos para la producción de esponjas purificadas en el vacío, en lugar de por tratamiento ácido.

PRODUCCIÓN DEL TITANIO POR EL PROCESO DEL IODURO

El titanio en estado de gran pureza ha podido ser obtenido por el proceso del ioduro, debido, inicialmente, a Van Arkel y D. Boer, que fueron los primeros en descubrir este proceso, en el año 1925.

Este mismo proceso, modernizado, ha sido empleado por el Battelle Memorial Institute, para la obtención de titanio en cantidades ya de cierta importancia para ser estudiado.

El proceso se basa en la formación de ioduro de titanio volátil, haciendo reaccionar el titanio con iodo, fuera del contacto con cualquier gas reactivo y depositando luego el titanio sobre un filamento caliente por la descomposición térmica del ioduro formado. Este proceso es cíclico, pues el producto gaseoso en la descomposición reacciona con más metal bruto y prosigue en esta forma desarrollándose el proceso. Las reacciones dependen de la temperatura a que se mantiene el metal bruto. Entre la temperatura ambiente y los 250° C. la reacción entre el iodo y el metal motiva la formación de $Ti\,I_4$ que se disocia en el filamento caliente, dando lugar a

$$Ti\,I_4 \rightleftarrows Ti + 2\,I_2$$

En cambio, si la temperatura es más elevada, el tetraioduro reacciona con más metal y forma Ti_2, que tiene mucha menos presión de vapor que el tetraioduro, por lo que debe considerarse que no se deposita metal hasta que la temperatura no rebasa los 425° C. Es, pues, conveniente mantener la temperatura de reacción por debajo de los 250° C. La temperatura del filamento oscila entre 1.100 y 1.500° C. En el primitivo aparato para la obtención del Ti por el proceso del ioduro se empleó una cámara de cristal Pirex de unas 20 pulgadas de longitud por 4 pulgadas de diámetro, con una tapa semiesférica que contenía tres varillas de volframio soldadas en el vidrio, como electrodos a las que iban unidos unos filamentos del mismo metal, dispuestos en tal forma que, si uno de ellos se consumía ardiendo, se podía continuar trabajando con los otros dos. Un brazo lateral contenía el iodo, refrigerado para evitar pérdidas mientras se hacía el vacío en la cámara y se cerraba herméticamente. La carga de trozos de metal en bruto obtenido por la reacción del óxido de titanio con sodio o calcio, quedaba en la periferia de la cámara, mantenida por una red de alambre de Mo. El titanio se deposita en los filamentos formando una horquilla cuyo grueso en longitud va aumentando hasta recubrir la totalidad del filamento. En cada operación se podían obtener dos varillas de metal de unas 15 pulgadas de longitud por 1/4 de pulgada de diámetro. El empleo de la cámara de cristal tiene el inconveniente de su debilidad a altas temperaturas, lo que dificulta emplear electrodos suficientemente grandes para obtener depósitos de consideración. Se han conseguido cámaras de 35 pulgadas con 7,5 de diámetro, pero, para mayores tamaños hay que prescindir del uso del vidrio. Con aquéllas se ha llegado a obtener horquillas de 300 grs. cada una, operando a 165° C.

Como en las reacciones de afino apenas si se consume energía, el exceso de calor producido en la cámara llega a ser problema delicado. A medida que se va formando el depósito en el filamento inicial, va siendo preciso aumentar la intensidad de la corriente para mantener la temperatura del filamento, y esto complica el problema de absorber el exceso de calor, ya que, operando con equipo de cristal, hay peligro de rotura, si se emplea un baño de refrigeración alrededor del mismo. Para evitar estas dificultades se han construído cámaras de reacción metálicas y se han obtenido tan buenos resultados que hoy las de cristal no se emplean más que en trabajos de laboratorio. Con estas cámaras se han obtenido va-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

rillas de 700 a 750 gramos de peso, operando a 165° C., las cuales se mantienen fácilmente por inmersión de la cámara metálica en un baño de circulación de aceite durante la operación.

Las cámaras se cargan con 12 ó 15 libras de metal bruto. Puede efectuarse con dicha carga diversos ciclos. El tiempo para cada ciclo varía con las condiciones en que se desarrolle con cámara metálica y para varilla de 5/8 pulgadas de diámetro, y son necesarias de treinta a cuarenta y ocho horas con una corriente de 580 amp. El consumo de energía eléctrica exactamente varía de 60 a 75 kilovatios-hora por libra de metal depositado. El titanio así obtenido tiene gran pureza y ha servido muy bien para estudiar propiedades de tan interesante metal.

FUNDICIÓN DEL TITANIO

La fundición del titanio presenta grandes problemas por su alta temperatura de fusión, la reactividad de este metal y la gran facilidad con que se combina, especialmente, con el oxígeno; por ello, ha habido que recurrir a procedimientos en los que se evite el contacto con el aire atmosférico, manteniendo, bien gases inertes de helio o argón, de gran pureza en contacto con el titanio, o bien mediante la técnica del vacío. En cuanto a los refractarios, son fácilmente reducidos por el titanio fundido, que se combina con el oxígeno, por lo que también los crisoles requieren especial atención. Se han empleado hornos de arco en los que se utilizaba un electrodo de volframio refrigerado con agua y un crisol de cobre también refrigerado con agua en atmósfera inerte de argón. Hornos de este tipo se han hecho de una libra de capacidad para trabajos de investigación y de cinco libras para otros trabajos, utilizando esponjas de titanio trituradas de los tamaños menores de media pulgada. También se han utilizado estos hornos para la obtención de aleaciones de titanio con otros elementos, y ha respondido perfectamente la calidad de los productos obtenidos. Estos hornos de arco resultan especialmente apropiados para la producción rápida de pequeños lingotes de titanio y de otras aleaciones sin contaminación con la atmósfera ni con el material del crisol. Debido a la baja conductibilidad térmica del titanio las pérdidas de calor en el crisol son pequeñas y, como el titanio líquido no se adhiere al cobre, se facilita la retirada del lingote por la parte inferior del horno. Se estudia hoy la posibilidad de producir lingotes en proceso continuo, aunque, hasta ahora, no se haya realizado.

Para la fundición del titanio se han empleado también hornos de inducción con crisoles de grafito. La fusión y la colada se hace en lingotes de 10 y de 100 libras y en atmósfera de argón. La lingotera va situada en la parte inferior del horno, de modo que la colada se hace sin manipulación que implique contacto del metal con el aire. La carga del horno se efectúa con trozos de esponja de titanio, taponando el orificio de colada de la parte inferior del mismo mediante un trozo lo suficientemente grande y realizando aquélla con partículas de tamaño aproximado de 1/4 a 3 pulgadas. La carga es fundida, aproximadamente, en treinta minutos.

El orificio de paso del horno a la lingotera puede calentarse mediante un arrollamiento independiente de el del horno, y ello permite fundir el tapón de titanio en el preciso momento en que quiera efectuarse la colada del metal. Los lingotes obtenidos por este procedimiento contienen de 0,4 a 0,7 de C., y 99 por 100 de Ti. El resto corresponde a las impurezas contenidas en la esponja de titanio de la carga.

LAMINACIÓN EN VAINA DEL POLVO DEL TITANIO

Las dificultades considerables que presenta la fundición del titanio, así como de sus aleaciones, ha dado lugar a amplio empleo del procedimiento de la metalurgia de los polvos para la utilización del titanio y de sus aleaciones.

La consolidación del polvo del titanio por prensado y «sinterizado» requiere, sin embargo, muy altas presiones y operar en atmósfera inerte o en el vacío para evitar la contaminación del titanio con el oxígeno y nitrógeno del aire. Un nuevo método de laminado en «vaina» es descrito por Mr. Long, metalurgista del Bureau of Mines, que permite la obtención de grandes piezas, partiendo de polvo de titanio, y salvando las dificultades de la «sinterización» y prensado. El método consiste en encerrar el polvo de titanio en una vaina metálica, generalmente, de acero,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y laminar el conjunto a temperatura elevada. Esta laminación en «vaina» permite fabricar piezas con masas de metal casi ilimitadas, y se obtiene titanio metálico, denso y sin defectos, en contraste con el aglomerado poroso que se obtiene por el prensado y «sinterizado». Igual que el metal ordinario el titanio laminado en «vaina» es dúctil, admite el trabajo en frío y alcanza las siguientes características:

ESTADO	C. de rotura Kg/mm²	L. elástico Kg/mm²	A % 2"	Dureza Rockwell «G»
Laminado en «vaina» a 800° C.	68	52	15'1	81
Con un 40 % de reducción de sección en frío	81	77	2'6	94

La «vaina» evita el contacto del titanio con la atmósfera, protegiéndola de la acción del oxígeno y del nitrógeno que reaccionan rápidamente con él a tan elevadas temperaturas y se difunden en el metal dando lugar a alta fragilidad. Esta «vaina» es después fácil de quitar una vez terminado el laminado, debido a una delgada capa de ferrotitanio muy frágil que se produce en la zona de contacto. La laminación se efectúa, generalmente, a unos 900° C. Pueden emplearse temperaturas que varían entre los 800 y los 1.000° C., si bien a esta última temperatura la excesiva oxidación de la vaina puede originar dificultades. Por debajo de los 800° la laminación tampoco es satisfactoria, pues la baja difusión del titanio a esta temperatura produce débil consolidación del laminado.

El polvo de titanio ocupa volumen triple o cuádruple que el del metal consolidado; por lo tanto, la máxima utilización del volumen de la vaina requiere comprimir previamente muy bien el polvo. Otro factor importante es el gas residual que queda encerrado en la vaina junto con el metal: el aire debe ser reemplazado por un gas inerte antes del cierre final de la vaina, o bien hay que reducir su volumen a cantidad despreciable. El hidrógeno que suele contener el polvo de titanio motivaría fragilidad en el metal si no se eliminase, por lo cual conviene efectuar un tratamiento a unos 725° C. para su eliminación por aspiración. Después de tales precauciones las vainas se cierran por soldadura y pueden ser sometidas al laminado. Por el procedimiento de laminado en vaina pueden obtenerse, no sólo piezas de titanio metálico, sino aleaciones de titanio con otros metales, mezclándo en forma conveniente y como se estudia en la metalurgia de los polvos, los correspndientes a los metales que forman la aleación, y así se han obtenido y consolidado satisfactoriamente polvos de Cr, W, Mo, Co, Fe, Ni, etc.

PROPIEDADES DEL TITANIO COMERCIALMENTE PURO, FORJADO Y OBTENIDO MEDIANTE FUSIÓN EN HORNO DE ARCO

La Remington Arms Co. ha estudiado las propiedades del titanio obtenido mediante el proceso de fusión y colada en horno de arco y sometiendo a forja el lingote obtenido a fin de transformarlo en barras y chapa sobre los que efectuar sus estudios. Actualmente se han conseguido lingotes de 20 a 25 libras de peso que han permitido fabricar pequeñas cantidades de chapa y varilla redonda.

Este titanio comercialmente puro contiene aproximadamente un 0.3 por 100 de C., y su contenido en oxígeno, nitrógeno y hierro varía de unas centésimas a unas décimas por ciento de cada elemento.

Con este material se efectuaron ensayos de tracción para la determinación de sus características mecánicas, obteniéndose en estado de recocido los siguientes valores:

$R = 56$ Kg./mm.²
$E_{0,2} = 52$ Kg./mm.²
$A = 32$ % (en probetas de dos pulgadas).

Sometido a deformación en frío para provocar acritud, la resistencia y límite elástico aumenta considerablemente, disminuyendo el alargamiento y obteniéndose para una reducción del 50 por 100 en frío los siguientes valores:

$R = 84$ Kg./mm.²
$E_{0,2} = 73$ Kg./mm.²
$A = 12$ %

Asimismo se estudiaron los valores de la resistencia y el límite elástico de las diversas temperaturas, observándose que hasta los 425° el titanio mantiene una buena resistencia, ya que su valor para esta temperatura es:

$R = 35$ Kg./mm.²
$E_{0,2} = 20$ Kg./mm.²

a los 550° la carga de rotura baja a 24 Kg./mm.²,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

descendiendo ya rápidamente a partir de esta temperatura. Estos ensayos en caliente se realizaban manteniendo la probeta durante treinta minutos aproximadamente a la temperatura del ensayo, y de ello puede observarse que la resistencia del titanio a 425° es próximamente doble que la de la aleación de aluminio de más resistencia en caliente a 200°. Asimismo, se han efectuado estudios de las características mecánicas del titanio a bajas temperaturas, por debajo de cero, y se ha observado que la ductilidad se conserva bastante bien aun a temperaturas de 50° bajo cero. Los ensayos de fatiga efectuados con el titanio no permiten todavía formular consecuencias concretas, pero parece ser que los resultados hasta ahora alcanzados son francamente satisfactorios, si bien no parece que alcancen un valor tan elevado como en los aceros, con respecto a su resistencia.

El titanio se forja bien a temperaturas comprendidas entre 850° C. y 1.000° C.

El mecanizado se realiza con la misma facilidad que en los aceros inoxidables austeníticos, empleándose análogos ángulos de corte, velocidad de alimentación, etc., que para el acero 18-8. Ensayos de soldadura realizados con el titanio Remington han dado buen resultado empleando arco inerte soldado en cordón y por puntos.

Por lo que respecta a la oxidación, el titanio resiste perfectamente la acción del aire atmosférico mantenido a una temperatura hasta 700° C.; por encima de esa temperatura el metal absorbe oxígeno y se hace muy quebradizo.

En cuanto su resistencia a la corrosión marina es extraordinariamente elevado, y asimismo resiste disoluciones acuosas de ácido nítrico, al ácido clorhídrico diluído y caliente, al ácido sulfúrico diluído y caliente, al agua regia y a otros diversas agentes corrosivos.

TRANSFORMACIONES DEL TITANIO

El titanio posee a la temperatura ambiente una estructura atómica del sistema hexagonal compacto, pero a 885° C. presenta una transformación alotrópica en la que la estructura pasa al sistema cúbico centrado en el cuerpo.

El titanio presenta, pues, dos variedades alotrópicas, la α estable hasta los 885° C. y la β estable por encima de esta temperatura.

La existencia de las dos variedades alotrópicas da lugar a una posibilidad de modificar las propiedades del titanio y especialmente sus aleaciones mediante un tratamiento térmico de temple, pudiendo retener total o parcialmente la variedad β (de alta temperatura). Como la solubilidad de otros metales puede ser distinta en ambas variedades, ello permite un amplio margen de posibilidades por lo que respecta a los tratamientos térmicos de las aleaciones.

LAS ALEACIONES DEL TITANIO

Ha sido un proceso general con todos los metales industriales el que sus aleaciones con otros metales hayan adquirido mayor importancia que las del propio metal-base, ya que procurando conservar las propiedades fundamentales de éste, pueden mejorarse o corregirse ciertos extremos mediante una adecuada aleación de elementos de adición.

Con las interesantes propiedades del titanio hemos de esperar grandes resultados buscando los elementos de adición que más puedan interesar, y mejorando las propiedades o corrigiendo defectos que presente el metal-base, y de ello es indudable que ha sido de particular atención el tratar de corregir la fuerte oxidación que presenta el titanio cuando se caliente a alta temperatura. Asimismo, se han encaminado las investigaciones a buscar aleaciones de alta resistencia y a mejorar la plasticidad. El Battelle Memorial Institute ha dedicado grandes esfuerzos a la realización de aleaciones y se halla actualmente efectuando amplias investigaciones sobre muchas fórmulas de composición, de las que se van publicando algunas referencias y que vamos a procurar resumir en sus extremos más fundamentales.

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS ALEACIONES DE TITANIO

Como es sabido, la solubilidad en estado sólido de los metales depende en gran parte de los diámetros atómicos del disolvente y soluto. Cuando aquéllos son muy semejantes se presentan disoluciones sólidas de substitución con solubilidad tanto más amplia cuanto

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mayor es la semejanza atómica (a igualdad de otros factores). Pero también un elevado contraste en diámetro atómico produce las disoluciones sólidas del tipo de inserción, aunque éstas, naturalmente, dados los diámetros atómicos de los metales en general, solamente se llega a producir con cuerpos de muy pequeños diámetros atómicos, como hidrógeno, nitrógeno, carbono, oxígeno, boro, etc.

El titanio posee un diámetro atómico que difiere menos del 15 por 100 de los diámetros atómicos de los principales metales industriales. Teniendo en cuenta las reglas de Houme Rothery podemos esperar obtener solubilidades por substitución en estados sólidos con todos ellos, ya que está dentro de la proporción del contraste atómico máximo admisible.

Resulta, pues, que el titanio presentará amplias disoluciones sólidas con la mayor parte de los metales industriales y con aquellos otros cuerpos de pequeño volumen atómico, con los que forma disoluciones intersticiales.

Con otros elementos de tamaño atómico menos favorables podemos esperar que nos formen compuestos intermetálicos, y por lo tanto, aleaciones formadas por varios constituyentes.

La transformación alotrópica del titanio que se presenta a la temperatura de 885° C. nos permite esperar cambios de solubilidades al pasar la estructura cúbica centrada en el cuerpo de la fase β de la alta temperatura a la hexagonal compacta de la fase α de baja temperatura. Asimismo, permite esperar en las aleaciones posibilidades de transformación de propiedades mediante tratamientos térmicos por los que se retenga a la temperatura ambiente estructura y constituyentes estables a alta temperatura.

Teniendo en cuenta las dos estructuras atómicas de las variedades α y β del titanio, la solubilidad total solamente podría presentarse con aquellos metales que presenten también estructura análoga en su fase sólida y que sus diámetros atómicos sean los adecuados. Solamente el zirconio y el hafnio tienen los mismos tipos de estructura y tamaño atómico favorable para poseer completa solubilidad con el titanio.

Otros elementos como el molibdeno, tunsgteno, tántalo y columbio, cuya estructura es la cúbica centrada en el cuerpo presentan completa solubilidad con el titanio β, pero esta solubilidad desaparece o se reduce al pasar a la variedad α.

Metales como el Cr, Fe, Mn y Ni son menos faforables a la solubilidad aun en la variedad β y formarán compuestos intermetálicos en las aleaciones de concentracción suficientemente elevadas.

Entre los que forman compuestos intersticiales, el oxígeno, el nitrógeno y el carbono merecen ser citados. La circunstancia de que el titanio presente la variedad cúbica centrada en el cuerpo a alta temperatura y la hexagonal compacta a baja temperatura es muy de tener en cuenta, pues la estructura cúbica centrada en el cuerpo presenta espacios intersticiales más pequeños que los de la hexagonal compacta, lo que hará que en las disoluciones intersticiales la solubilidad tienda a aumentar, al pasar de β a α por lo que a los espacios interatómicos se refiere, y por otra parte, como la variedad cúbica centrada en el cuerpo tiene espacios intersticiales sumamente pequeños, solamente podremos esperar bajas solubilidades a alta temperatura de elementos como el carbono.

De ahí que las aleaciones de titanio y carbono no presenten gran interés, contrariamente a lo que ocurre con las de hierro y carbono que forman el tan interesante grupo de los aceros y fundiciones.

Desde el punto de vista de su estructura atómica el titanio pertenece al grupo IV de los elementos de transición, y su enlace con los átomos de los otros cuerpos puede tener carácter metálico y carácter homopolar, según la naturaleza del elemento de aleación. El Battelle Institute hace observar la circunstancia de que en las aleaciones del titanio con elementos del grupo V y del grupo VI, los de este último grupo ejercen un efecto más reforzador en las propiedades mecánicas que los del V, y asimismo, que, cuanto más ligero es el elemento en cualquier grupo, mayor es el efecto reforzador en las propiedades mecánicas. Dentro del grupo VI, parece ser que el Cr ha sido el elemento que produce mayor aumento de resistencia, y lo siguen el Mo y el W del mismo grupo.

DIFICULTADES EN LA OBTENCIÓN DE LAS ALEACIONES DE TITANIO

La elevada temperatura de fusión del titanio, 1.730° C. hace que ya por sí solo constituya una

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

grave dificultad para la obtención de aleaciones, ya que tendremos que recurrir a los métodos más enérgicos de calentamiento para alcanzar las altas temperaturas de fusión que se requieren. Por otra parte, con los metales volátiles como el Z, Cd, Mg, As y Ag, difícilmente podríamos conseguir la obtención de aleaciones. Ello unido a las graves dificultades que presenta la gran reactividad del titanio en estado líquido, que complica extraordinariamente el problema de los refractarios, así como su gran afinidad por el oxígeno, hidrógeno y nitrógeno y los perniciosos efectos que estos gases producen en él, ha dado lugar a que inicialmente se hayan preparado las aleaciones de titanio más que por proceso de fusión, por el procedimiento de la metalurgia de los polvos.

Corrientemente, la aleación se prepara mezclando los polvos metálicos y formando un compacto sometido a una presión de 30 a 50 Tm./pulgada^2; este compacto se sinteriza en el vacío entre una y dos horas, manteniendo una temperatura de alrededor de 1.100 a 1.200° C. También se emplea en las aleaciones en polvo del titanio el método de Long, del que hemos hablado para el titanio metal, consistente en el laminado en vaina de polvos con la mezcla conveniente a la aleación que se desee formar.

Este método de formación de aleaciones, aunque produce buenos resultados, no es el más adecuado para definir las propiedades de las aleaciones en estudio, especialmente cuando se trata de metales de alto punto de fusión, como sucede con las aleaciones con tungsteno, molibdeno, tántalo y cromo, en las que, las dificultades de difusión pueden dar lugar a productos poco homogéneos. Ello ha hecho que se hayan realizado grandes esfuerzos para obtener aleaciones de titanio por fusión y colada.

Como hemos indicado antes, la reactividad del titanio ha creado serias dificultades en la elección del material para refractarios, y de los ensayos que se han realizado parece que únicamente se han obtenido resultados aceptables utilizando como refractario el óxido de thorio. También se han empleado con buen resultado crisoles de cobre refrigerados por agua, que basados en la alta conductibilidad térmica del cobre y la baja conductibilidad del titanio, han podido ser utilizados en muchas aleaciones.

Claro está, que tanto la fusión como la colada han tenido que realizarse o en el vacío o en la atmósfera inerte, generalmente de argón, y se han obtenido mediante procedimientos ingeniosos resultados seguros que han evitado, casi totalmente, la contaminación del titanio con el oxígeno, nitrógeno y el hidrógeno, principales enemigos del metal y de sus aleaciones.

ALEACIONES BINARIAS DEL TITANIO

Investigaciones sobre las propiedades de las aleaciones binarias del titanio han sido realizadas ampliamente por la Navy Bureau of Aeronautics por la Office de Naval Research y el Battelle Institute, sin que hasta hora se tengan datos muy concretos que permitan fijas características a las diversas aleaciones.

En líneas generales, la influencia de los elementos que se señalan sobre el titanio, es la que se indica a continuación:

Carbono.—Debido a su limitada solubilidad, las adiciones de carbono en cantidad superior a unas cuantas décimas por ciento, dan lugar a que se formen carburos. Las concentraciones de carbono que se obtienen ahora al fundir cuidadosamente en recipientes de grafito confieren un poco más de resistencia al titanio sin causar ningún efecto serio en sus propiedades de trabajo en caliente.

Boro.—Las adiciones de 0,1 y de 0,5 por 100 indican cierto endurecimiento, pero sin efectos especialmente ventajosos. La adición del 5 por 100 tuvo por resultado que las piezas fundidas ya no fueran susceptibles de ser trabajadas en frío.

Berilio.—El berilio reduce muy considerablemente el punto de solidus; una adición del 3 por 100 lo hace descender a los 975° C. (efectuando la adición por los procedimiento de la metalurgia del polvo). Las aleaciones con 1 por 100 o menos de berilio se trabajan en frío con facilidad, confieren al titanio una resistencia algo superior a la que tiene por sí solo después del trabajo, y muestran ciertos indicios de que también ganan resistencia con el tratamiento térmico.

Silicio.—El silicio confiere fragilidad al titanio, pero las aleaciones con 1 por 100 o menos de silicio pueden ser laminadas en frío. Añadiendo 1 por 100 de silicio se puede obtener una resistencia de más de 110 Kgs./mm.^{2} de carga de rotura, sin perder por completo el alargamiento. El silicio reduce asimismo

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la temperatura de fusión, y la adición de un 3 por 100 la hace descender a 1.225° C.

Hierro.—En cantidades pequeñas el hierro promete resultar una adición de las que hace aumentar la resistencia del titanio. Sin embargo, Larsen y sus colaboradores encontraron que una adición del 10 por 100 perjudicaba a sus propiedades de trabajo en frío.

Cromo.—En cantidades de hasta el 10 por 100, el cromo aumenta rápidamente la carga de rotura y el punto de fluencia del titanio, con la correspondiente disminución en ductilidad. Se alea bien y da mayor resistencia y facilidad para el trabajo en frío en un campo moderadamente amplio, y parece ser uno de los más prometedores elementos primarios de aleación.

Níquel.—Kroll opinaba que el níquel es uno de los mejores elementos de aleación para el titanio. Una aleación con 5 por 100 de níquel dió excelente laminabilidad. Larsen y sus colaboradores informan de que una adición del 10 por 100 de Ni, afecta desfavorablemente a sus propiedades de trabajo en frío. Long sugiere que un 6/8 por 100 Ni es el mejor límite en cuanto a su empleo de temperatura elevada.

Manganeso.—Larsen y sus colaboradores encontraron que, exceptuando las grandes pérdidas de Mn que se produce por volatilización o por fusión, este elemento es uno de los elementos metálicos de aleación más interesantes. Se hicieron aleaciones de hasta un 15 por 100 de Mn, que se laminaron en caliente; la aleación con 5,6 por 100 de Mn dió una carga de rotura de 114 Kg./mm.^{2}, con un alargamiento del 4,5 por 100.

Cobalto.—Una barra sinterizada con 10 por 100 Co mostró muy malas propiedades para el trabajo en frío, pero Kroll encontró que con el 5 por 100 se laminaba en caliente y muy bien.

Cobre.—Hasta ahora ninguna aleación con cobre ha mostrado características particularmente útiles.

Vanadio.—Las adiciones de vanadio (de 95 por 100 de grado de pureza) hasta un 5 por 100 mostraron algún aumento en la resistencia al ser laminadas, pero con seria y rápida pérdida de ductilidad.

Aluminio.—Las aleaciones de hasta 6 ó 7 por 100 de aluminio se han trabajado con facilidad en frío y en caliente, y parece ser resultarán útiles, como adición primaria.

Molibdeno.—Este metal es útil como adición primaria, pues se alea fácilmente con el titanio y le confiere tanta mayor resistencia cuanto mayor es su concentración, por lo menos hasta el 20 por 100.

Tunsgteno.—Debido a su amplio campo de solubilidad β, el tungsteno es útil también como adición primaria. Una adición del 20 por 100 por metalurgia del polvo ha dado una carga de rotura de 105 Kg. mm.^{2} con 4,5 por 100 de alargamiento con laminado en caliente y enfriamiento en horno. Una aleación con 4,7 por 100 de tunsgteno, con cierta contaminación de nitrógeno-oxígeno, obtenida por fusión por arco, dió una carga de rotura de 139 Kg./mm.^{2} y un alargamiento del 2 por 100 en la forja en caliente.

Tántalo.—Se han preparado aleaciones de hasta un 20 por 100 de tántalo que se comportan en forma análoga al titanio solo, en cuanto a propiedades para el laminado en frío y en caliente.

Colombio.—Las adiciones de hasta un 20 por 100 de colombio de que se ha informado hasta ahora aumenta moderadamente la resistencia del titanio, y las aleaciones pueden ser laminadas en frío o en caliente con facilidad. Parece ser que adiciones bastante considerables de colombio no hacen disminuir mucho la ductilidad.

Estaño.—Aunque funde a temperatura baja, el elevado punto de volatilización del estaño hace que sea posible alearlo con el titanio. La adición de este elemento aumenta muy poco la resistencia del titanio.

Zirconio.—Aunque el zirconio se alea fácilmente con el titanio en todas las proporciones, no se ha probado que contribuyese a darle propiedades extraordinarias. Se ha informado de que una adición del 10 por 100 de zirconio hacía aumentar moderadamente la dureza y la resistencia, pero a costa de la ductilidad.

Plomo.—Es posible añadir al titanio varias unidades por ciento de plomo, que aumentan moderadamente la resistencia de aquél.

Thorio.—Kroll afirma que las aleaciones del titanio con el thorio son muy blandas, pero no tenemos más datos acerca de sus propiedades mecánicas.

El manganeso, cromo, molibdeno, níquel, vanadio, hierro, cobre y cobalto, producen buenas aleaciones binarias de altas propiedades de resistencia. Son

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

las mejores al parecer las de los cuatro primeros elementos. Parece comprobado que en estas aleaciones puede producirse un aumento de resistencia mediante un temple, calentado por encima de 885° C. Asimismo parece demostrarse que las propiedades de las aleaciones obtenidas por fusión y después laminadas en caliente alcanzan características más elevadas que las que se han obtenido por sinterizado.

ALEACIONES TERNARIAS

Las investigaciones del Battelle Institute han realizado estudios sobre 113 aleaciones ternarias del titanio, cuya composición fué la siguiente:

1.—Aleación con titanio-carbono, con Cu, V, Cr. Mn, Fe o Co.

2.—Aleación de titanio-nitrógeno, con Cr.

3.—Aleación de titanio-cromo, con V, Mo, W, Co o Ni.

4.—Aleación de titanio-manganeso, con Si, Cr, W o Fe.

En general, puede decirse que las adiciones de 0,25 por 100 de carbono en las aleaciones ternarias produce alguna mejora en la resistencia a la tracción, sin perjudicar grandemente la ductilidad. Con 50 por 100 de Mn y 0,25 de C. se obtiene 133 Kg./mm.^{2} de carga de rotura con 4 por 100 de alargamiento en la aleación laminada.

Adición de 0,1 a 0.2 de nitrógeno en aleaciones de titanio-cromo, aumenta la dureza y resistencia, pero rebasa ligeramente la ductilidad. Con 5 por 100 de Cr y 0,1 por 100 de nitrógeno se obtuvo una aleación de 130 Kg. de carga de rotura con 5 por 100 de alargamiento y 2,95 de dureza Wickers.

En las aleaciones binarias tal vez más interesantes como el titanio-cromo no mejoran apreciablemente con adición de V, Mo, W, Co o Ni.

En las aleaciones titanio-manganeso el silicio parece ser perjudicial. El hierro mejora considerablemente la resistencia con pérdida de ductibilidad. El cromo tiene ligeros efectos en las propiedades de tracción; el W, en cambio, mejora las características. Una aleación con 5 por 100 de Mn y 1 por 100 de W da 133 kgs. de carga de resistencia, con 4,5 por 100 de alargamiento y 137 de dureza Wickers.

Con más alta proporción de elementos de adición muchas aleaciones ternarias aumentan en dureza cuando son templadas desde el campo de la zona β.

ALEACIONES CUATERNARIAS DE TITANIO

Partiendo como base de las aleaciones binarias titanio-cromo, se han realizado estudios de aleaciones cuaternarias con las siguientes composiciones:

1.—Titanio-cromo, cromo, nitrógeno.

2.—Titanio-cromo-carbono con cobre, V, Mo, Mn, Fe o Ni.

3.—Titanio-cromo-nitrógeno, con V, Mo o Ni.

Todas las aleaciones dan lugar a un aumento de resistencia por temple desde el campo de la fase, pero las propiedades de tracción no parecen ser muy mejoradas. En muchas de estas aleaciones se producen efectos de maduración cuando se les da el oportuno tratamiento, consistente en unas cuatro horas a 400° C.

Un resumen de propiedades de las principales de estas aleaciones se expresa en el siguiente cuadro:

COMPOSICIÓN	R Kg/mm^2	A °/o sobre una pulgada
Cr 3,5 %, C 0,25 %, N 0,1 %	112	7
Cr 5 %, C 0,25 %, N 0,1 %	128	6
Cr 5 %, V 1 %, C 0,25 %	120	5
Cr 5 %, V 2 %, C 0,25 %	139	3,5
Cr 3,5 %, Mn 1 %, C 0,25 %	113	4,5
Cr 5 %, Mn 1 %, C 0,25 %	125	4,5
Cr 3,5 %, Mn 2 %, C 0,25 %	96,5	9,5
Cr 3,5 %, Mn 2 %, C 0,25 %	135	2
Cr 3,5 %, Fe 2 %, C 0,25 %	130	6
Cr 3,5 %, V 2 %, N 0,2 %	124	6
Cr 5 %, Mo 1 %, N 0,1 %	122	4,5
Cr 3,5 %, Mo 1 %, N 0,2 %	133	7
Cr 5 %, Ni 1 %, N 0,1 %	127	5
Cr 1 %, Ni 2 %, N 0,2 %	136	3

Como puede verse en estas aleaciones los efectos reforzadores de los elementos de adición son considerables, siendo de destacar especialmente la aleación, 3,5 de Cr, 1 Mo y 0.2 N, por la elevada resistencia que ofrecen dentro de un alargamiento de bastante consideración.

CONCLUSIÓN

Hemos expuesto brevemente algunas ideas sobre las propiedades tan interesantes del titanio y sus aleaciones principales, así como algo sobre el estado ac-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tual sobre su metalurgia y la obtención de aleaciones de titanio-base. No aspiramos en tan breve exposición a otra cosa que a hacernos eco y divulgar la inquietud en que hoy se vive sobre el porvenir de este metal y sus posibilidades; inquietud que se manifiesta en los nuevos trabajos que en proporción creciente van apareciendo, por cada ««simposium» que se publica y que revelan no hay hoy laboratorio industrial que no se halle trabajando en problemas relacionados con el titanio.

En España, donde, al parecer, abunda este metal al menos en estado de ilmenita, no debemos contemplar indiferentes estos trabajos, y creemos de interés prepararnos para desarrollar la metalurgia del titanio que puede llegar a constituir una nueva fuente de riqueza.

Nuestra innegable tradición metalúrgica y nuestro interés nacional nos señalan claramente este camino.

Madrid, 30 de abril de 1950.

BIBLIOGRAFÍA

TITANIUM PROGRAMS OF MILITARY AGENCIES.—Navy Bureau of Aeronautics.—Army Ordnance.—Air Materiel Command.—Naval Research Laboratory.—*Metal Progress*, febrero 1949.

PRODUCTION AND FABRICATION.—Production of Titanium Powder by the Bureau of Mines.—Consolidation of Titanium Powder by Sheath Rolling.—Production of Titanium by the Iodide.—Process.—Induction Melting of Titanium in Graphite.—Induction Melting and Casting of Titanium.—Alloys. Arc melting of Titanium Spot Welding of Titanium. *Metal Progress*, febrero 1949.

TITANIUM ALLOYS.—Mechanical Properties of Wrought Titanium Alloys.—Made by Arc Melting or by Sintering.—Properties of Binary Sintered and Rolled Titanium Alloys.—High-Temperature Properties of Titanium Alloy Castings.—Constitution of Sintered and Worked Titanium-Nickel Alloys.—Properties of Melted and Forged Titanium-Chromium Alloys.—*Metal Progress*, marzo 1949.

TITANIUM.—Composition, Structure and Properties of Iodide Titanium.—Properties of Wrought Commercially Pure Titanium Prepared by Arc.—Melting and Casting.—Fatigue and Corrosion of Sintered and Rolled Titanium.—Engineering Properties of Sintered and Rolled Titanium.—*Metal Progress*, marzo 1949.

TITANIUM SYMPOSIUM.—Potential uses of Titanium metal.—Titanium Alloys.—Preparation and Properties of Titanium-base Alloys.—Fabrication of Titanium-rich Alloys.—Titanium Tetraiodide.—*Industrial and Engineering Chemistry*, febrero 1950.

AIME PAPERS COVER PROGRESS IN TITANIUM, OTHER MATERIALS. *Materials & Methods*, abril 1950.

El Sr. Castillo solicita aclaraciones sobre los minerales titaníferos más indicados como primera materia para la metalurgia del titanio, que le son dados por su autor. El Sr. Kindelán (D. Ultano), indica la conveniencia de intensificar la investigación de minerales de titanio y de que se haga un inventario, con ayuda de las Jefaturas de Minas, de las zonas en que existe este mineral en España. El Sr. Morales Belda dice que en la laminación del tubo de hierro relleno de polvo de titanio se utilizan temperaturas del orden de los 800° C. y pregunta si se realiza la operación por encima de la temperatura de transformación del titanio, al objeto de que la estructura cristalina sea la cúbica centrada y si existe información respecto del diagrama del sistema binario titánico-carbono, pregunta, que, dice el Sr. Morales Belda, tiene relación directa con las ideas del Sr. Calvo relativas al empleo de titanio metálico en composición con carbono de titanio. Asimismo, le pregunta al autor si es de esperar

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

gran porvenir en cuanto al titanio como metal de adición al acero, ya que lo tiene en los productos en que es constituyente fundamental.

Continúa su intervención, diciendo: en la reunión de la "American Society for Metal", de Boston, el año pasado, se comentaba el gran efecto que cantidades inferiores al 1 % de titanio producen en algunas propiedades mecánicas de productos férreos, y pregunta si existe aplicación metalúrgica conocida que explique la magnitud de tales efectos.

Responde el Sr. Calvo Rodés a las preguntas formuladas y, tras de ello, por ausencia del Sr. Petit, que no puede asistir a la reunión, se leen las conclusiones del siguiente trabajo, de que es autor:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

N.º 146. - Industrialización de nuestros yacimientos de aluminio

Autor: D. MARIO PETIT MONSERRAT
Ingeniero Industrial

INTRODUCCIÓN

El consumo mundial de aluminio ha ascendido siguiendo ritmo tan acelerado, que en pocos años este metal se ha convertido en el más importante después del hierro (1).

Además el aluminio es uno de los elementos más difundidos en la corteza terrestre, ya que constituye el 8,1 de la misma (2), y que se halla distribuído con bastante uniformidad en los diversos continentes. Le corresponde a España una reserva de considerable importancia (3).

Existen también en nuestro país instalaciones electroquímicas como la del Aluminio Español, y la más potente y moderna de la Empresa Nacional del Aluminio, las cuales pueden preparar todo el metal que se consume en la Nación (4). Si, no obstante esto, nuestro mercado no se encuentra abastecido de metal, es porque, a causa de dificultades derivadas de las circunstancias en que se mueve el comercio exterior, no se ha obtenido el suministro normal de las materias primas que aquellas factorías consumen y, principalmente, porque no se haya podido preparar a partir de materias primas nacionales el óxido de aluminio necesario para la obtención de las cantidades de metal que necesitamos.

Así, pues, la carencia de óxido de aluminio ha sido la causa principal de la paralización de nuestras instalaciones electroquímicas para la obtención de metal, y ha originado incalculables perjuicios, no sólo a aquellas empresas, sino también a los innumerables consumidores de metal, y, entre ellos, a las industrias vitales del transporte de energía eléctrica y defensa nacional.

El anhelo que con la reunión de las II Jornadas de Ingeniería Industrial se demuestra, obliga a que cada uno de nosotros aporte cuantos datos crea que puedan contribuir a resolver los problemas que, como el enunciado, plantea la industrialización de España. Cumpliendo con esta obligación moral, se ha juzgado conveniente exponer en donde, según nuestro parecer, residen las dificultades para obtener, con nues-

(1) VITORIA, E.: *El aluminio y sus aplicaciones.—Afinidad.* Núms. 71/72, 1948; págs. 529-576
(2) CLARKE, F. W. y WÁSHINGTON, H. S.: *The composition of the Earth's Crust.* «Prof. Pap. U. S. geol. Suru.», número 127. Wáshington (1924).
(3) PETIT, M.: *Noticias sobre yacimientos de aluminio nacionales de interés industtial.* «Anal. Fís. y Quí.», t. 42, números 422-423; págs. 627-638.
(4) ARANGUREN, F.: *El futuro en las aleaciones ligeras en nuestro país.* «I Congreso Nacional de Estudios Metalúrgicos». Barcelona, junio 1944.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tras menas, óxido de aluminio apto para la fabricación de metal y sugerir métodos para orillarlas, con la esperanza de que puedan ser de utilidad o interés para algunos de los compañeros que se ocupan de tan importante tema.

LA BAUXITA, COMO MATERIA PRIMA

Si otras circunstancias son semejantes, el beneficio del óxido de aluminio resulta tanto más económico, cuanto mayor es el porcentaje que del mismo contienen las materias primas de que se parte. Por ello, resulta ser la bauxita la materia prima más importante, ya que, conteniendo impurezas comunes a muchos otros minerales o rocas, su porcentaje en óxido corresponde al más alto de entre las menas corrientes.

La fabricación de óxido a partir de la bauxita puede orientarse a base de elaborar bauxita de importación, o aprovechar bauxita nacional, puesto que, afortunadamente, poseemos reservas considerables de dicha mena (1). Lo primero puede ser económicamente interesante en tiempo normal, pero tiene el inconveniente de subordinar la industria del país a las frecuentes anormalidades que el comercio exterior atraviesa. Por ello parece que el ideal sería poseer instalaciones en las que, como las que se sugerirán, puedan indistintamente tratarse materias primas nacionales o extranjeras.

Enfocado ya de esta manera el problema, se precisa indicar que los yacimientos de bauxita hasta ahora reconocidos en nuestra Patria, tienen composición química distinta de los que generalmente se explotan en el extranjero (2). En efecto, mientras existen fundamentos racionales para estimar que, en promedio, nuestras menas tienen, como mínimo, un 20 % de sílice (*1* y *2*), en el extranjero se usan para la manufactura de óxido minerales con alrededor de 3 % solamente de dicho producto (*3*).

Puede, no obstante, aducirse en favor de nuestros minerales, que el elevado porcentaje de sílice no se alcanza a expensas de una disminución del contenido usual de óxido de aluminio, sino que éste es próximo a un 50 %; valor semejante al de bastantes bauxitas extranjeras. El mayor contenido de sílice se compensa, en cambio, con menor proporción del contenido de óxido de hierro, que es también un componente normal de la bauxita.

Por desgracia, la disminución del contenido en óxido de hierro no representa ninguna ventaja importante cuando se intenta la extracción del óxido de aluminio con la suficiente pureza para que, por reducción electrolítica, se transforme en metal, puesto que para ello se utiliza universalmente el método de Bayer, en el cual el óxido de hierro no introduce obstáculos graves y, en cambio, el elevado contenido en sílice induce a cuantiosas pérdidas de las substancias que entran en reacción.

En el método de Bayer las pérdidas de reactivos causadas por la sílice derivan de que se combinan con el hidróxido sódico empleado en el tratamiento aludido, formando, primeramente, un silicato sódico que, por posterior reacción con el óxido de aluminio presente, da lugar a sílicoaluminatos sódicos insolubles que se pierden con los residuos que contienen el óxido de hierro y el resto de impurezas.

La formación del sílicoaluminato sódico, corrientemente denominada reacción de desilicatación y en la que reside precisamente la causa de que el método Bayer proporcione una alúmina extremadamente pura, resulta muy desfavorable en el caso que ahora consideramos, por la cuantía de las pérdidas que introduce. Éstas, según Pansieri (4), se elevan por cada unidad de sílice a 1,1 - 2 de alúmina y hasta 2,2 de hidróxido sódico.

No obstante, el origen del mineral influye sobre las pérdidas aludidas, y así, el Jefe de investigación de la Aluminum Company of America, *F. Frary*, ensayando bauxitas americanas halla valores inferiores (5). Aceptando el criterio más favorables de este último, en nuestro caso, y para tratar una tonelada de bauxita con 20 % de sílice y 50 % de óxido de aluminio (abstracción hecha de pérdidas originadas por otros conceptos), deberían gastarse, como mínimo, 200 kilos de hidróxido sódico que se perderían junto con la sílice

(1) PETIT, M.: *Noticias sobre yacimientos de aluminio nacionales de interés industrial.* «Anal. Fís. y Quí.», t. 42, números 422-423; págs. 627-638.

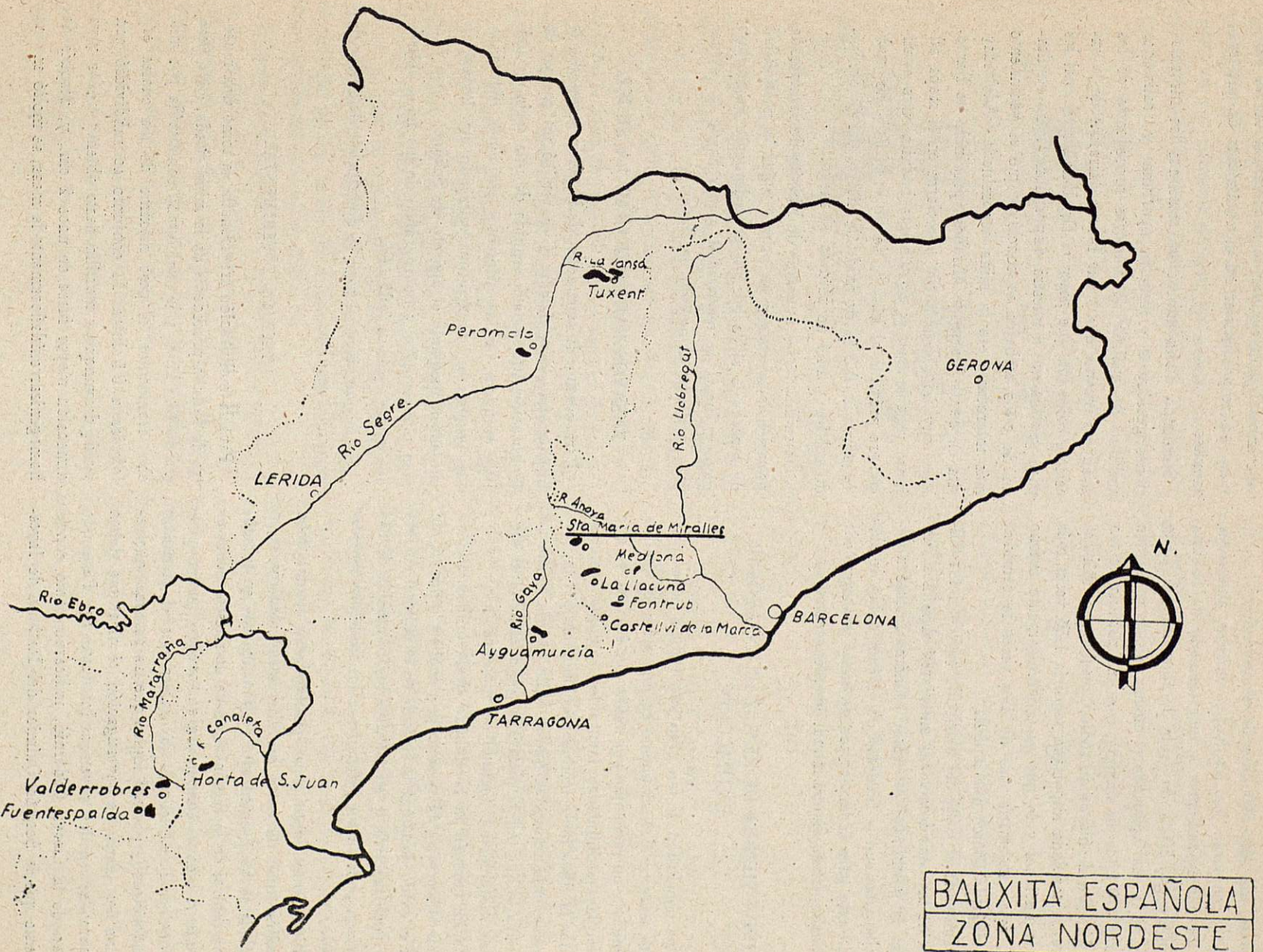
(2) PETIT, M. y MENSA, J. M.ª: *Resultados analíticos obtenidos con diversos tipos de bauxitas nacionales.* «Anal. Fís. y Quí.», t. 42, núms. 422-423; págs. 639-648.

(3) BIOS: *Final report núm.* 904. «Aluminium Hydrate and Alumina Production in Italian Factories». London, 1946.

(4) PANSIERI, C.: *L'Aluminio e le sue leghe.* T. I. Milano, 1945; pág. 95.

(5) FRARY, F.: *The Alumina Production in Peace and War.* «Ind. Eng. Chem. News Ed». Vol. 23, núm. 15, 10 august, 1945; págs. 1324-1327.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y con 200 kilos de óxido de aluminio, para extraer, finalmente, tan sólo 300 kilos de alúmina.

Si se comparan los resultados teóricos anteriores con los correspondientes a una tonelada de bauxita extranjera con 50 % de óxido de aluminio y 3 % de sílice, de la cual aplicando el mismo cálculo se pueden obtener 470 kilos de alúmina, con una pérdida de tan sólo 30 kilos de hidróxido sódico, resulta que, teóricamente, la tonelada importada rendiría 1,56 veces más que la nacional y lo que es económicamente mucho peor, ésta consumiría más de diez veces la cantidad de hidróxido sódico que aquélla.

Atendiendo al coste del hidróxido sódico, los resultados de las consideraciones anteriores obligan a descartar la posibilidad de tratar económicamente nuestras bauxitas con la finalidad de obtener óxido de aluminio apto para la fabricación de metal por el método de Bayer, hasta ahora, mundialmente aceptado.

CONVENIENCIA DE REALIZAR ENSAYOS DE EXTRACCIÓN

Una conclusión de tan gran importancia no es prudente sentarla exclusivamente en una serie de análisis químicos y un raciocinio por lógico que éste sea, ya que caben las posibilidades favorables (aunque remotas) de que la sílice fuese fácilmente eliminable por un tratamiento mineralúrgico, que se halle en una forma no reactiva, o que por la presencia conjunta de otras materias, el raciocinio seguido no fuese válido.

Existe también la posibilidad desfavorable, que no puede discernirse fácilmente por análisis químico, de que el óxido de aluminio se halle en el mineral en forma poco reactiva, y en tal caso los resultados de extracción podrían ser inferiores a los supuestos teóricamente.

Finalmente, junto a las posibilidades citadas debe añadirse que, de entre los diferentes criaderos cuyo análisis se ha promediado, existen algunos en la subzona central de la región nordeste de nuestra península que, si bien no contienen gran tonelaje, poseen composiciones bastante más favorables que el promedio citado. Resulta por ello lógico que las personas que señalan los temas de investigación técnica que deben desarrollar en los diversos Institutos del Patronato Juan de la Cierva Codorniú, indicaran como conveniente que la Sección Química del Instituto de Investigaciones Técnicas de Barcelona realizara un trabajo experimental para evaluar la importancia de las pérdidas que se producirían en el tratamiento de nuestras bauxitas.

Siguiendo dicha indicación, reunimos las informaciones geológicas y mineras oportunas y realizamos multitud de análisis de muestras procedentes de los criaderos reconocidos y que fueron extraídas de la excelente colección que posee el Dr. Bataller, el cual las puso gentilmente a nuestra disposición. Como resultado de estos trabajos se concluyó que el yacimiento más interesante era la mina denominada «Adelaida», sita en Santa María de Miralles (provincia de Barcelona) cuya situación puede apreciarse en el mapa adjunto y de la cual se extraía una bauxita cuyo análisis era próximo al 14,5 % de sílice, 62,2 % de óxido de aluminio, 8,2 % de óxido de hierro, 0,4 % de óxido cálcico y 14,4 de pérdida al fuego.

Obtenidas varias muestras de bauxita de la indicada procedencia se ensayó en primer lugar la posibilidad de separar la sílice por un procedimiento mineralúrgico, y, luego, la reactividad y marcha de la extracción mediante el método de Bayer.

ENSAYOS PARA SEPARAR LA SÍLICE

Para intentar la separación de la sílice, se estudió la bibliografía sobre el tema y se realizó un ensayo de molturación fraccionada seguida de una serie de análisis químicos de las diferentes porciones obtenidas. Las pruebas se completaron realizando una levigación cuidadosa mediante el aparato de Schöne, y con examen microscópico y micrográfico de los finos obtenidos en los ensayos indicados.

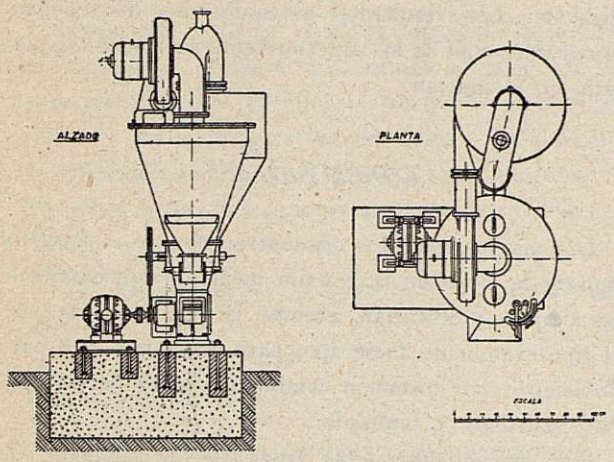
En lo que sigue se hace la descripción detallada de la técnica seguida.

TÉCNICA EXPERIMENTAL

Para la molturación fraccionada se tomó una muestra de bauxita procedente de la mina citada, cuyo peso era de 13,5 kilos, y la cual estaba constituída por muchos fragmentos, el peso máximo de los cuales era inferior a 0,5 kilos. El conjunto se subdividió con ayuda de yunque y martillo hasta obtener trozos cuya dimensión mayor fuese de unos 2 cm., y, después de homogenizar cuidadosamente la masa, se molió en una

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

instalación tipo Emesa, N. A. 1944, cuya disposición puede verse en el dibujo anexo, y la cual consta de un molino de martillos tipo MC 1, con tamización automática por corriente de aire. La instalación consta de: alimentación automática y regulable, cámara de



pulverización, clasificador de polvo, comprobación de finura, ciclón de precipitación y de un electroaspirador de 1,5 C. V. La potencia necesaria para el accionamiento del molino la suministra un electromotor de 5 C. V., el cual, mediante un multiplicador de velocidad, hacía girar los martillos de la cámara de pulverización a 5.000 revoluciones por minuto. El aparato se ajustó de manera que proporcionara un polvo de finura máximo.

Se molturaron primero 2,5 kilos de materia, con objeto de lavar el molino, y, después de separar el polvo obtenido, se recogió cuidadosamente el polvo resultante. Al cabo de 150 minutos se interrumpió la operación porque era interesante analizar la pequeña cantidad de estéril remanente en el clasificador y, además, la cantidad de fino producida disminuía ya mucho por falta de alimentación del molino.

El peso de la porción fina fué de 9,107 gramos, y el del estéril de la tamización neumática 1.706. La diferencia entre la suma de ambas fracciones y el peso inicial se debe a substancias y humedad arrastradas por el aire que circulaba por el aparato.

Una parte de la porción fina obtenida se tamizó en una tela de bronce que tenía 4.900 mallas por centímetro cuadrado, sin que dejase residuo sobre la misma. El estéril de la tamización neumática del molino se tamizó en la serie de telas de bronce que se indican, obteniéndose los pesos de fracción que se mencionan:

Número de mallas por cm.²	por cm.	Luz de la malla en mm.	Peso de rechazo en gramos
25	5	1,2	28
324	18	0,135	185
900	30	0,20	310
2.000	45	0,14	277
2.500	50	0,12	252
4.900	70	0,09	305,4

Conviene indicar que el valor correspondiente al tamiz de 4.900 mallas está calculado a partir del peso obtenido por tamización de 100 gramos de producto original, dado el crecido tiempo exigido por la tamización a dicho grado de finura.

Los análisis químicos de las fracciones obtenidas del estéril de tamización y la del fino fueron los siguientes:

Producto Rechazo sobre	Análisis SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3
324	13,3	64,7	2,5	5,2
900	13,19	—	—	—
2.000	13,2	—	—	—
2.500	13,2	64,8	2,3	5,7
4.900	14,0	62,1	—	8,2

Los ensayos de levigación se realizaron con una porción de la fracción comprendida entre 2.000 y 2.500 mallas, ya que correspondía a un producto lo bastante fino para diferenciar los diversos componentes del material de partida y que poseía la necesaria uniformidad de tamaño de los corpúsculos para realizar una excelente separación de las partículas isódromas de las diversas substancias que constituyen la bauxita ensayada.

La levigación se efectuó con la ayuda del conocido aparato de Schöne, observándose la particularidad de que por efecto de la corriente de agua, los gránulos cargados se desleían, convirtiéndose en otros mucho menores que eran arrastrados, incluso a velocidades de agua debilísimas. En consecuencia, se prolongó la extracción a este régimen durante 6 días, guardando las aguas ligeramente turbias obtenidas, de manera que por sedimentación natural se separase el poso finísimo que contenían. Luego, prescindiendo de este fenómeno, se condujo la operación a velocidad mayor, hasta separar aproximadamente un 15 % de substan-

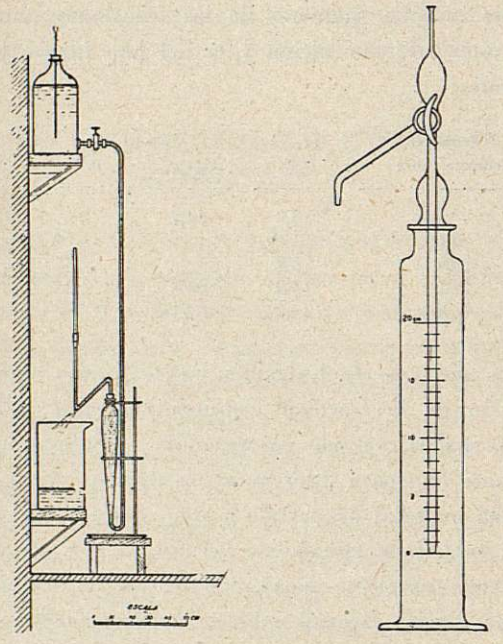
FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cia, para observar si las diversas porciones aisladas presentaban composición distinta.

Realizadas las determinaciones analíticas cuantitativas de la sílice contenida en las diversas fracciones después de desecarlas a peso constante a 105° C., se obtuvieron los resultados siguientes: :

	SiO_2
Lodo finísimo procedente desintegración partículas.	13,3 %
Cabezas arrastradas en la levigación (menos del 10 %)	13,3 %
Residuo remanente en el aparato	13,1 %

Para realizar el examen microscópico y micrográfico, se utilizó la porción que dejaba residuo nulo sobre el tamiz de 4.900 mallas por centímetro cuadrado. Las preparaciones microscópicas se obtenían de suspensiones de polvo en alcohol, con objeto de aminorar el efecto de desleimiento antes indicado y facilitar, a la vez, la formación de capas de polvo monocorpusculares. Se observó así que el polvo estaba constituído por partículas de colores comprendidos entre el rosa y el blanco, y con todos los matices intermedios, pero ni por su forma ni por su poder absorbente frente a la disolución alcohólica de rojo de alizarina, saturada de ácido bórico y posterior lavado con alcohol, no se podía señalar diferenciación entre corpúsculos siliciosos y no siliciosos.



Es conocido que muchos minerales de aluminio silicatados, por tostación modifican sus propiedades y resultan más aptos para el beneficio. En consecuencia, se tostaron en un horno eléctrico 50 gramos de fracción 2.000-2.500 a 750° C., manteniendo esta temperatura durante una hora, y se repitió el ensayo de levigación. Los resultados obtenidos no discrepaban apreciablemente de los anteriormente señalados, y, por esto, no se indican.

CONCLUSIONES

Los ensayos referidos demuestran que no es factible separar la sílice de la bauxita mediante procedimientos simples, y descartan, además, la posibilidad de que el tipo examinado fuese apto para un tratamiento por flotación o por tostación combinado con separaciones por isodromía y tamizado.

Por consiguiente, debía ensayarse directamente el tratamiento del mineral y fijar experimentalmente las pérdidas que en el proceso se producían.

ENSAYO DE LA REACTIBILIDAD DE LA BAUXITA

Al elegir las condiciones operatorias para el beneficio de la bauxita se procuró que aquéllas representasen un límite que difícilmente pudiese ser superado en una explotación industrial, procurando, además, puntualizar suficientemente las condiciones en que se realizaban los ensayos con la finalidad de que, en cualquier momento, se pudieran reproducir y comprobar la exactitud de los resultados obtenidos.

Así, para definir de la manera más precisa posible el grado de finura del material de partida, se realizó una determinación granulométrica del polvo de bauxita empleado. La pureza y concentración de los reactivos se aseguró, asimismo, mediante cuidadosos análisis químicos cuali y cuantitativos.

Se partió de un mineral molido a un grado de finura extremado y reactivos de ataque de pureza máxima; mineral y reactivos se mantuvieron en contacto durante la reacción, en inmejorables condiciones de agitación. El tiempo que duró en cada reacción fué también apreciablemente superior al que se acostumbra a emplear en la industria, ya que allí deben tenerse pre-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sente consideraciones de aprovechamientos de los aparatos de reacción que, en nuestro caso, carecían de importancia. La recogida, filtración y lavado de los residuos de la reacción se realizaron también sin otra preocupación que la de obtener rendimientos de extracción óptimos.

Además de realizar la extracción por el procedimiento clásico de Bayer y deseando alcanzar los mayores rendimientos posibles, se ensayaron diversas variaciones en la temperatura de trabajo, y la adición de hidróxido cálcico en el digestor para comprobar si con estas variaciones se mejoraba la marcha de la operación.

El detalle de las manipulaciones se refiere en lo que sigue.

TÉCNICA OPERATORIA

En esta sección se describe cómo el mineral, con el grado de finura conveniente, se atacaba mediante reactivos, en un aparato adecuado, y la manera de separar luego los productos obtenidos de los residuos estériles, para conocer los resultados obtenidos. Para hacer más clara la exposición se describirá a continuación, y bajo los subtítulos de Grado de finura de la bauxita usada, Reactivos, Aparato de reacción, Marcha de las operaciones, Separación de los productos de reacción y Método de comprobación de los resultados, todo lo concerniente a estos apartados.

Grado de finura de la bauxita utilizada.

Como ya se indicó, el producto estaba molido de manera que dejaba residuo nulo en el tamiz de 4.900 mallas centímetro cuadrado, pero, para definir mejor la composición granulométrica, se siguió el procedimiento basado en la ley de Stokes y propuesto por Andreasen. Según el trabajo fundamental del autor citado, la fórmula que da el tamaño de los corpúsculos en función del tiempo de caída es:

$$r = \sqrt{\frac{9\ h\ \eta}{2\ (P_1 - P_2)\ g t}} \qquad (1)$$

en donde

r = radio en centímetros de las partículas supuestas de forma esférica.

h = profundidad en centímetros a la cual se efectúa la toma de muestras.

η = es la viscosidad del medio dispersante.

P_1 = peso específico del material en examen.

P_2 = peso específico del medio dispersante.

g = constante de la gravedad.

t = tiempo en segundos contados desde la iniciación de la experiencia.

Expresado el tiempo en minutos y r en micrones (1 micron = 10^{-4} cm.) y substituyendo g por el valor 9,81, la fórmula anterior se convierte en la expresión:

$$r = 87{,}46 \sqrt{\frac{h\ \eta}{(P_1 - P_2)\ t}}$$

Como P_2 para el agua a 30° C. asciende a 0,9956; y η es igual a 0,008 poises. Falta únicamente determinar la densidad P_1 de la bauxita en polvo para expresar de manera inmediata la correspondencia entre t, h y r. Para determinar la densidad de la bauxita usada, se tomaron 10 gr. de mineral pulverizado y desferruginado magnéticamente y se hirvieron durante quince minutos con agua destilada en un vaso de precipitados de 400 c. c. a fin de expulsar el aire que retenía el material. Después de enfriar el conjunto, se llenó un picnómetro de 5 c. c. de capacidad con el sólido embebido en agua, para lo cual se decantó previamente la mayor cantidad posible de la misma, y en varias operaciones se fué extrayendo el exceso de agua introducida en el picnómetro. Una vez enrasado y pesado, se vació su contenido en una cápsula de platino, previamente tarada, y se arrastró la totalidad del barro contenido en el picnómetro por sucesivos lavados con agua y luego se desecó el contenido de la cápsula en una estufa eléctrica a 105° C. Aplicando la fórmula correspondiente se halló que el peso específico de la bauxita era de 2,95, e introducido dicho valor en la fórmula de Andreasen se convirtió en:

$$r = 5{,}6 \sqrt{\frac{h}{t}}$$

de la cual, y por simple transformación, se deduce:

$$t = 31 \frac{h}{r^2}$$

en la cual t representa el tiempo en minutos transcurrido desde el momento inicial en que se inicia el experimento hasta el que todas las partículas de radio

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

superior al prefijado, *r*, se hayan sedimentado después de descender la distancia *h*.

Preparada una tabla en la que se tuviese en cuenta la disminución de la distancia de caída después de cada extracción de muestra, se obtuvo la siguiente:

Diámetro de las partículas en micrones	Altura de caída en centímetros	Tiempo transcurrido en minutos
Hasta 24	20	4,3
» 10	19,5	24,18
» 8	19	36,5
» 6	18,5	63,5
» 5	18	89,2
» 4	17,5	135,5
» 3	17	234
» 2	16,5	511,5

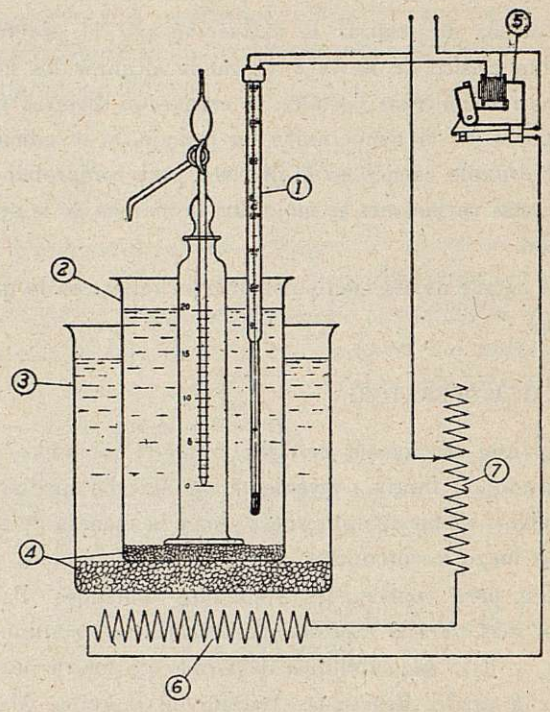
Las disminuciones de altura producidas por cada extracción eran las que experimentalmente encontramos en el aparato que hicimos construir, y que consistía en una probeta de vidrio con tapón esmerilado con cabida de 500 c. c., en la que se hicieron grabar 20 trazos separados entre sí 1 cm. y el primero de los cuales estaba a 8 cm. de la boca y el último a 4,5 cm. del fondo. El tapón esmerilado se substituyó por un dispositivo adecuado para la toma de muestras del líquido contenido en su interior y que permitía recoger el volumen predeterminado en un recipiente conveniente.

La disposición y montaje del sistema puede comprenderse mejor por examen del croquis adjunto.

Para la ejecución del ensayo se tomaron 4,8 gramos de mineral pulverizado y desecado a 110° C. hasta peso constante, y se dejaron en reposo durante veinticuatro horas en un vaso de 500 c. c. junto con 200 c. c. de agua, con la finalidad de que se embebiera completamente.

Transcurrido este período de tiempo y con la finalidad de que la materia alcanzara el máximo grado de dispersión, se añadieron 8,7 c. c. de disolución de pirofosfato sódico al 4,68 % y se sometió el conjunto a una agitación durante diecisiete horas en un recipiente cilíndrico que giraba en el sentido de su generatriz, gracias a un eletromotor *r* acoplado a un reductor de velocidad, de manera que daba 40 revoluciones por minuto.

Transcurrido el tiempo indicado se transvasó el líquido a la pipeta de Andreasen, se enjuagó varias veces el cilindro de agitación con agua destilada hasta alcanzar un volumen de 480 c. c. Así se obtuvo una suspensión que contenía un 1 % de sólido (1 gramo de sólido por 100 c. c. de volumen total). Después de haber homogenizado perfectamente por agitación el conjunto, y enrasada la probeta en la división 20, se introdujo el aparato en un termostato calentado eléctricamente con una corriente cuya intensidad podía regularse mediante una resistencia variable y el cual, mediante un termorregulador se mantenía a 30 ± 1° C. Los detalles de conexión y montaje pueden observarse en el esquema adjunto.



1.-Termo regulador. 2.-Vaso de vidrio. 3.-Vaso metálico. 4.-Arena. 5.-Relais. 6.-Resistencia de calefacción. 7.-Resistencia de regulación.

A los treinta minutos se comprobó que la temperatura de la pipeta no discrepaba de la del termostato, dentro del límite de variación de la de éste, y, después de agitar el conjunto e invertirlo rápidamente hasta cuatro veces, se puso en marcha el cronómetro con el cual se medían los tiempos en que debían realizarse las tomas de muestra.

Transcurrido el correspondiente a la muestra de 24 micrones, se extrajeron 10 c. c. de la suspensión en examen, aspirando el líquido con la pipeta en que se medía el expresado volumen y se vaciaban luego los 10 c. c. en un crisol de porcelana previamente tara-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

do y que se llevó luego con el líquido a la estufa eléctrica a 110° C. hasta constancia de peso.

Siguiendo esta misma técnica se realizaron todas las extracciones presupuestas y se obtuvieron los resultados que se expresan:

Diámetro en micrones de las partículas	Porcentaje en peso en que se hallan
Hasta 24	38
de 23 a 10	11,4
de 10 a 8	7,6
de 8 a 6	3,0
de 6 a 5	3,6
de 5 a 4	1,8
de 4 a 3	4,2
de 3 a 2	6,8
de 2 a 0	23,6

Otras determinaciones realizadas permitieron comprobar que los resultados anteriores se reproducían dentro de un límitte de ± 10 %, lo cual se juzgó suficiente para el objeto que se perseguía, máxime teniendo en cuenta el efecto de desleimiento de la bauxita por el agua, indicado al mencionar los ensayos de levigación en el aparato de Schöne.

Reactivos.

En el método clásico de Bayer se utiliza como reactivo de ataque una disolución de aluminato sódico, cuya composición es: mols. Al_2O_3/mols. $Na_2O \cong 1/6$, y cuya concentración de Al_2O_3 es aproximadamente de 1 mol Al_2O_3 por litro. Siguiendo dicha indicación se praparó una de las disoluciones de ataque. Asimismo se preparó otra disolución de ataque con la misma relación Al_2O_3/Na_2O, pero cuya concentración de Al_2O_3 por litro fué 0,33 para ensayar una variante del método de Bayer patentada por Müller-Hiller.

Para la preparación de las antedichas disoluciones de aluminato fué preciso obtener previamente un óxido de aluminio lo suficiente puro y reactivo. Para ello se siguió la técnica siguiente, recomendada por Willstätter (*1*).

130 grs. de hidróxido de aluminio comercial y 140 gramos de hidróxido potásico (80 %) se disuelven en 900 cm³ de agua caliente. Se diluyen en un litro de agua destilada, se filtra, y el filtrado se diluye en 10 litros. Se deja pasar durante dos días una corriente débil de CO_2. El precipitado, que se deposita en el fondo en forma granulada, se separa de la lejía madre por decantación, se lava unas doce veces con agua carbónica y finalmente con agua destilada hasta que ésta permanece turbia.

El producto escurrido en un Buchner se desecó en la estufa a 60° C. y, según se demostró, fué apto para la preparación de las disoluciones deseadas.

El óxido de aluminio obtenido fué analizado para determinar su contenido en agua y su riqueza en Al_2O_3.

La determinación del agua se hizo calentando con un soplete hasta aproximadamente 1.200° C., durante quince minutos, la materia-problema contenida en crisol de Pt, situado coaxilmente en un cilindro de refractario, y determinando la pérdida de peso.

La determinación del Al_2O_3 contenido, parecía lógico realizarla con este producto calcinado. No obstante, la inercia química del Al_2O_3 calcinado es tal, que requiere, para entrar en disolución, ser finamente pulverizado y disgregado por fusión con carbonatos alcalinos. Esto lleva como consecuencia técnicas operatorias no exentas de errores que pueden contrarrestar la ventaja de haber tomado como substancia de partida el residuo de la pérdida al fuego.

Por esta consideración se tomó otra porción de muestra desecada para la determinación del contenido en Al_2O_3. La técnica seguida fué la siguiente:

0,5 grs. de material se atacaron con 10 cm³ de ácido clorhídrico del 35 % calentado en el baño maría hasta disolución completa. Se evaporó a sequedad; se añadieron 4 cm³ de agua y 2 cm³ de ácido sulfúrico concentrado y se calentó con precaución hasta aparición de humos blancos. La sílice insolubilizada se separa por filtración, se lava con agua caliente hasta desaparecer la reacción del ión SO_4, se deseca, calcina y pesa. En el líquido filtrado y lavado se valoró la suma $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ añadiendo 4 cm³ de ácido clorhídrico diluído (1:1) e hirviendo y precipitando el $Al(OH)_3$ con amoníaco al 10 %. Se filtra, se lava con agua conteniendo nitrato amónico y una gotas de amoníaco, y se pesa, previa incineración y calcinación.

El Fe_2O_3 se valoró volumétricamente, según Zimmermann-Reichardt, partiendo de una nueva porción de muestra atacada, como queda dicho.

Los resultados obtenidos fueron:

Pérdida por calcinación	34,5 %
Sílice	0,17 »
Óxido férrico	0,09 »
Óxido de aluminio	65,48 »

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que, para el producto calcinado, corresponden a la composición siguiente:

Sílice	0,26 %
Óxido férrico	0,14 »
Óxido de aluminio	99,85 »
	100,25 %

Es previsible, de acuerdo con los trabajos de Blum (*3*), que el exceso sobre 100 sea atribuíble a la dosificación del Al_2O_3; por lo tanto, es probable que la riqueza en Al_2O_3 del producto calcinado sea 99,6.

Dado el límite de exactitud que, por anticipado, habíamos señalado en nuestro trabajo, dimos como bueno el óxido de aluminio obtenido.

Para la preparación de la lejía de aluminato sódico necesaria para nuestros ensayos, precisaba hidróxido sódico. Pudimos adquirir en el mercado un envase de 16 Kg. de hidróxido sódico purificado, marca Gehe & Co., S. A., cuyo análisis fué:

Hidróxido sódico	95,6 %
Carbonato sódico	2,2 »
Precipitado por amoníaco y sílice	0,021 »
Cloruros	0,01 »
Sulfatos	0,005 »
Fosfatos	0,005 »
Nitrógeno total	0,001 »
Metales pesados (en Ag)	0,003 »
Hierro	0,002 »

Los métodos con que se ensayó este hidróxido sódico fueron los oficialmente aceptados en España (*4*).

La impureza más nociva para el uso a que destinábamos este reactivo era el Al_2O_3, y, en segundo lugar, el SiO_2, ambos dosificados conjuntamente bajo la denominación «Precipitado por amoníaco, y sílice»; de este valor y de las cantidades de reactivo que intervenían en cada ensayo resultaba una impurificación muy por debajo de los límites de error prefijados.

No era aconsejable, bajo ningún aspecto, operar directamente con el hidróxido sódico sólido, por lo que se preparó una disolución concentrada, del 49 % de NaOH, a partir de la cual se pudieran fácilmente obtener por dilución las lejías necesarias. La disolución concentrada se conservó en un frasco de vidrio con tapón de goma, que desde largo tiempo se había venido usando con finalidad semejante, pues, si dejaba de tomarse dicha precaución, se hallaba un aumento en el precipitado obtenido con amoníaco, probablemente debido a la solubilización de sílice.

Las disoluciones de aluminato sódico que había que preparar para ser utilizados como líquido de ataque en el digestor de Bayer debían contener Al_2O_3 y Na_2O en la relación 1/6, según hemos ya señalado. La cantidad de Na_2O debía ser, en la disolución concentrada, de 6 moles por litro. La disolución diluída para la variante según Müller-Hiller, debía tener en cambio aproximadamente 2 moles de Na_2O por litro y podía obtenerse por dilución de la anterior.

Para preparar la disolución de aluminato con 6 moles de Na_2O por litro se calentaban conjuntamente las proporciones convenientes de lejía de hidróxido sódico de 49° Bé e hidróxido de aluminio, calculadas según los resultados analíticos expuestos. La solubilización perfecta del hidróxido de aluminio requería alcanzar la temperatura de ebullición, próxima a 130° C., y mantenerla durante 45 minutos, ya que, de otra forma, si bien la disolución parecía completa en caliente, se separaban con facilidad porciones sólidas al enfriarse. La disolución obtenida se dejaba en reposo durante una noche a 110° C. en una estufa eléctrica con termo-regulador, con la finalidad de obtener una sedimentación de las partículas, que le daban aspecto opalescente. Si no se tomaba la precaución de realizar esta sedimentación en caliente se tardaba varios días en obtener un líquido límpido.

Se separaba por decantación la disolución clara, la cual era difícil que contuviera la proporción deseada de Al_2O_3/Na_2O y la concentración por litro que se había calculado; por ello siempre convenía realizar el análisis químico cuantitativo y proceder a las correcciones necesarias.

El modo de operar fué el siguiente: En un matraz de fondo redondo de 2 litros de capacidad se colocaron 1.010 cm^3 de la disolución de hidróxido sódico de 49° Bé y se añadieron lentamente y con agitación 233 grs. de hidróxido de aluminio. Acabada la adición se calentó la mezcla hasta ebullición, agitando periódicamente la papilla para evitar recalentamientos del vidrio. La ebullición se mantuvo durante 45 minutos, al cabo de los cuales la disolución era prácticamente completa; una vez fría se pasaba a una probeta de 2 litros y se diluía con agua destilada hasta 1,5 litros. La densidad de la disolución así obtenida era de 45° Bé o sea 1,45 gr/cm^3.

El análisis de la disolución, que se dirigía a determinar el contenido en Al_2O_3 y Na_2O, se hacía siguiendo el procedimiento (5) recomendado por Fresenius

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

(6), el cual consiste en precipitar el $Al(OH)_3$ con corriente de CO_2, filtrar y determinar el Na_2O en el líquido filtrado con ClH valorado en contacto con anaranjado de metilo.

La técnica operatoria seguida por nosotros es la siguiente: Pesar de 15 a 20 grs. de aluminato, pasarlos a un matraz aforado de 250 cm^3, añadir agua hasta enrase, medir con una pipeta 25 cm^3 de la disolución resultante, diluirlas con un poco de agua, agregar unas gotas de sol. alcohólica de fenolftaleína. A continuación se pasa corriente de CO_2 hasta desaparición del color rosado y se filtra y lava con agua el óxido de aluminio obtenido y se deseca y calcina el precipitado. Al líquido filtrado, junto con las aguas de loción, se le añaden unas gotas de anaranjado de metilo y se valora con ClH N/2. Operando de este modo el peso del precipitado de Al_2O_3 oscila entre 0,10 y 0,14 grs. aproximadamente, y el número de cm^3 de ClH N/2 que se gastan en la valoración varía entre 26 y 35.

Se ha observado que, dejando el líquido por el cual se ha pasado CO_2 en una vasija abierta durante unas horas, reaparece el color rosado, debido, seguramente, a la transformación del bicarbonato sódico que se había formado, en carbonato neutro.

Las pequeñas discrepancias entre el valor obtenido por análisis y el deseado se procuraba que fuesen debidas a un exceso de Al_2O_3, con lo cual resultaban fácilmente corregibles, dentro de la aproximación deseada, por adición de la cantidad calculada de disolución de hidróxido sódico de 49° Bé.

La lejía de aluminato con relación $Al_2O_3/Na_2O = 1/6$ y concentración de 2 moles Na_2O/litro, se obtenía diluyendo un volumen de la disolución concentrada con agua destilada hasta el triple del valor primitivo.

Precisó también preparar una disolución de hidróxido sódico que contuviera 100 grs. de Na_2O por litro, destinada al lavado de los dos resultantes del ataque por el procedimiento Bayer.

Para ello se tomaban 361 m. de sol. de 49° Bé y se diluían con agua destilada hasta 2 litros. Se comprobaba por alcalimetría si la concentración era la deseada y, en caso conveniente, se corregía de manera adecuada.

Aparato de reacción.

Para realizar los ensayos proyectados era preciso que el aparato de reacción pudiera calentarse hasta 300° C., resistir presiones de trabajo de hasta 100 atmósferas y permitir la agitación de la masa reaccionante.

Para ello se usó la instalación siguiente:

En una bancada común había montado un motor eléctrico de 1/2 HP., trifásico, y para un voltaje de 220 volts., que giraba a 1.400 revoluciones por minuto, acoplado directamente a un reductor de velocidad que en el árbol reducido bajaba a 40 las revoluciones por minuto dadas por el motor. En el árbol del reductor había un soporte montado en voladizo, al cual podía sujetarse convenientemente el recipiente de reacción. En la parte exterior de éste había un arrollamiento de calefacción capaz de producir las temperaturas convenientes regulables mediante intercalación de una resistencia variable que modificaba la intensidad de la corriente en circulación.

Para obtener una agitación de la masa reaccionante y permitir las tomas de corriente de calefacción convenía montar el recipiente de reacción de manera que un eje de simetría coincidiera con el de rotación del reductor, lo cual era fácil de realizar mediante la abrazadera anteriormente indicada. Gracias a esta disposición se conseguía hacer posible la toma de corriente de calefacción a través de unas escobillas y unos anillos rozantes sujetados a la superficie de calorifugante de que estaba rodeado el aparato.

Las temperaturas de la masa reaccionante se apreciaban mediante un termómetro introducido en un tubo de acero roscado en la tapa y que penetraba hasta casi el fondo del aparato. Para conseguir que las lecturas estuviesen de acuerdo con las temperaturas reales se embutía amianto en el interespacio termómetro-tubo de hierro y en la zona próxima a la superficie de la tapa.

Como ya se ha dicho, se deseaba que el recipiente de reacción pudiese resistir en algunos ensayos presiones de hasta 100 atmósferas, y por ello se calculó y proyectó para ser construído con acero. La parte cilíndrica tenía 64 mm. de diámetro interior, 160 de altura y 463 cm^3 de volumen útil; podía destaparse por ambos extremos y cerrarse herméticamente mediante un juego de 8 tornillos de 7/8 de pulgada y cabeza exagonal por tapa. Se conseguía que la junta entre la tapadera y el cuerpo cilíndrico fuese estanca, interponiendo entre ambas superficies un anillo elástico constituído por una parte exterior de cobre re-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

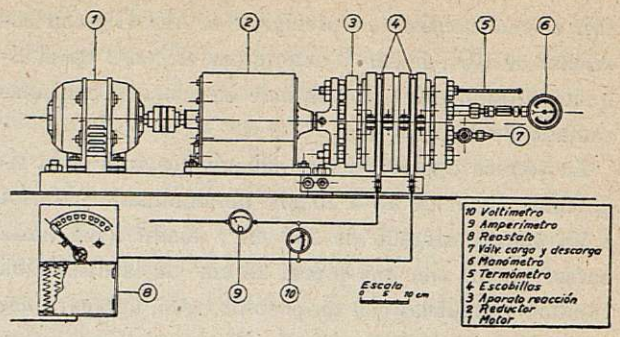
cocido que recubría un relleno de fibra de amianto. Para que la presión de trabajo de esta junta fuese uniforme, las superficies de asiento habían sido torneadas escrupulosamente, y se trazaron además unos surcos convenientemente dispuestos para mejorar el cierre. Para garantizar que la tapa se cerraba en la posición debida, su situación se definía mediante dos espárragos fijos en el cuerpo cilíndrico.

El espacio ocupado por la cabeza del macho hacía imposible utilizar para apretar los tornillos llaves fijas y, con mayor motivo, llaves inglesas. Por lo tanto, fué obligado proyectar y construir un tipo de llave de tubo acodado. Para sostener los considerables esfuerzos necesarios para las maniobras de cierre y apertura del autoclave se mantenía en un marco de hierro construído con perfiles y atornillado en tablero de madera de una robusta mesa de trabajo.

La agitación de la masa reaccionante se producía por el efecto de rotación del recipiente, incrementado por la acción del tubo de hierro, en el que se introducía el termómetro, el cual removía, además, 16 bolas de acero de 10 mm. de diámetro que se cargaban siempre a fin de mejorar la remoción de la masa.

Con vistas a determinar las presiones de trabajo correspondientes a las diversas condiciones operatorias, extremo sobre el cual la bibliografía consultada daba pocas indicaciones, se dispuso en el recipiente de reacción un manómetro metálico. Cuando se operaba con aluminato concentrado y a temperaturas iguales o inferiores a 200° C., el manómetro utilizado tenía una escala que alcanzaba a 20 Kg/cm²; para las temperaturas hasta 300° C. se empleaba otro cuya escala abarcaba hasta 100 Kg/cm². Debido a la agresividad elevada de las disoluciones de ataque al cobre y las aleaciones corrientemente utilizadas en la construcción de las cámaras elásticas de los manómetros y por las dificultades prácticas de aislar éstas de aquéllas, pareció preferible servirse de manómetros con cámaras elásticas de acero, para lo cual fué preciso construir los aparatos especialmente. Esta precaución dió resultado excelente, y la determinación de la presión no ofreció ninguna dificultad en las operaciones realizadas.

El conjunto de la instalación puede observarse en el esquema que se adjunta.



Marcha de las operaciones.

Se cargaba en el autoclave la cantidad deseada de disolución de aluminato con la composición y concentración convenientes, y se añadía 100 grs. de la bauxita anteriormente definida, cuando se operaba por el método clásico de Bayer, o 27 gramos si se ensayaban marchas según Müller-Hiller.

La adición de la materia sólida sobre la lejía de ataque se hacía progresivamente y agitando sin cesar con una varilla de hierro, procurando que en todo momento el polvo se diluyera perfectamente en el líquido.

Acabada la adición se cargaban las bolas de acero mencionadas, y mediante la varilla, y dando la inclinación conveniente al autoclave, se procuraba que se situasen en zona opuesta a la ocupada por el tubo termométrico de inmersión y no dificultasen, por tanto, el asiento perfecto entre las superficies de cierre de la tapadera y el cuerpo cilíndrico.

Después de cerrar el autoclave, siguiendo las precauciones de rigor en el ajuste de los tornillos, se montaba acoplándolo al reductor de velocidad, que producía la agitación, y se establecía el contacto con las escobillas, que debían transmitir la corriente de calefacción. Se ponía en marcha el motor que producía la agitación y, a continuación, se conectaba la corriente de calentamiento. La intensidad de esta última se regulaba mediante un reóstato, de manera que, excepto en el caso de operar a 300° C., no sobrepasase los 14 amperios con objeto de no forzar las condiciones de trabajo del arrollamiento de resistencia. Dado que entre los bornes de las escobillas existía una diferencia de voltaje de 56,5 voltios durante el período preestacionario, la energía absorbida por la resistencia de calefacción era de 790 vatios; en los períodos estacionarios las intensidades de corriente de calefacción

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y la energía absorbida fueron las indicadas en la tabla siguiente:

Temperaturas	Intensidades	Voltajes	Potencias
170° C.	9,5 amp.	39,9 volts.	380 watts.
200	11,1	45,5	505
250	12,7	53	703
300	13,5	56,5	763

Una vez alcanzada la temperatura deseada se estabilizaba graduando convenientemente la intensidad y se mantenía durante el tiempo prefijado, al cabo del cual, para enfriar, se interrumpía la corriente de calefacción manteniendo la agitación del recipiente de presión hasta que la temperatura descendía a 115° C., y en ese momento se paraba el motor y se desmontaba el recipiente de reacción.

En estas condiciones la marcha de la temperatura en función del tiempo era la que expresan las siguientes tablas:

TABLA 1

Marcha de la calefacción en función del tiempo para temperatura nominal de 170° C.

Tiempo	Temperatura	Tiempo	Temperatura
0 horas	20° C.	1 h. 15 m.	170° C.
0 h. 30 m.	80	período estacionario	170 ± 2° C.
0 h. 45 m.	110	7 h. 15 m.	170
1 h. 153 m.		7 h. 30 m.	153
		7 h. 45 m.	137
		8 h.	119

TABLA 2

Marcha de la calefacción en función del tiempo para temperatura nominal de 200° C.

Tiempo	Temperatura	Tiempo	Temperatura
0 h. 20 m.	20° C.	7 h. 22 m.	200° C.
0 h. 30 m.	75	7 h. 37 m.	187
0 h. 45 m.	107	7 h. 52 m.	168
1 h.	140	8 h. 7 m.	155
1 h. 15 m.	177	8 h. 22 m.	135
1 h. 22 m.	200	8 h. 37 m.	120
período estacionario	200 ± 2° C.		

TABLA 3

Marcha de la calefacción en función del tiempo para temperatura nominal de 250° C.

Tiempo	Temperatura	Tiempo	Temperatura
0 h.	20° C.	1 h. 45 m.	250° C.
0 h. 30 m.	125	período estacionario	250 ± 2,5° C.
0 h. 45 m.	160	7 h. 45 m.	250
1 h.	185	8 h. 15 m.	195
1 h. 15 m.	225	8 h. 45 m.	155
1 h. 30 m.	242	9 h. 15 m.	120

TABLA 4

Marcha de la calefacción en función del tiempo para temperatura nominal de 300° C.

Tiempo	Temperatura	Tiempo	Temperatura
0 h.	20° C.	2 h. 45 m.	286° C.
0 h. 15 m.	135	3 h.	292
0 h. 30 m.	162	3 h. 15 m.	295
0 h. 45 m.	175	3 h. 30 m.	297
1 h.	190	3 h. 45 m.	300
1 h. 15 m.	210	período estacionario	300 ± 2,5° C.
1 h. 30 m.	235	9 h. 45 m.	300
1 h. 45 m.	253	10 h. 15 m.	240
2 h.	265	10 h. 45 m.	185
2 h. 15 m.	275	11 h. 15 m.	147
2 h. 30 m.	281	11 h. 25 m.	117

Las presiones de trabajo son función de la concentración del reactivo de ataque, de la marcha de la reacción y de la temperatura.

Cuando se operaba con disoluciones de aluminato de 45° Bé, cuya relación Al_2O_3/Na_2O es de 1/6, la correspondencia entre presiones y temperaturas y marcha de reacción está mucho más influída por las variaciones de la temperatura que por la marcha de la reacción, hasta el punto que, dentro de los límites de apreciación de los manómetros utilizados y dadas las condiciones de trabajo, no se apreciaba la influencia de la variación de concentración en Al_2O_3, debido al desarrollo del ataque.

La influencia de la temperatura sobre la presión, que es una función que no ha sido estudiada en ninguna de las publicaciones consultadas, es la que a continuación se expresa en la tabla adjunta:

Temperatura	Presión
170° C.	5,5 atm.
200	11
225	18
250	28
275	43
300	62

Acabada la reacción, y una vez alcanzada la temperatura de 115° C., se desmontaba el recipiente de presión y, después de destaparlo mediante una espátula, se procuraba recoger completamente el líquido que humedecía el tubo termométrico y la tapa.

Utilizando una pipeta especialmente diseñada, se extraía del interior del recipiente de presión el producto de la reacción, el cual, a pesar de constar de una fase líquida y otra sólida, parecía completamente ho-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mogéneo debido a la alta viscosidad de la porción líquida.

La pipeta se vaciaba en un aparato de filtración, cuya descripción se da más adelante, y cuyo proyecto y construcción hicimos nosotros mismos procurando que respondiera a las peculiaridades del caso.

Para evitar pérdidas de líquido por adherencia a las paredes del recipiente y de la pipeta, las cuales, debido a la elevada viscosidad y densidad del mismo, habían inducido a errores por encima de los límites prefijados, se enjuagaban dichos útiles con líquidos alcalinos cuya composición era de 100 grs. de Na_2O/litro, y los cuales se empleaban también para extraer las tortas de filtración según se dirá.

La filtración de la masa de reacción proporcionaba un líquido, y un residuo constituído por una porción sólida, que denominaremos «estéril», impregnada, hasta cierto punto, de aquel líquido. El aspecto, consistencia y otras propiedades de esta porción residual era semejante a la de un lodo arcilloso, por lo cual se acostumbra a designar «lodo rojo».

Era imposible juzgar acerca del rendimiento de la reacción, si no se podía separar de manera satisfactoria la porción de líquido primitivo retenida en el sólido estéril, y, por esto, describiremos seguidamente los métodos que seguimos para resolver esta cuestión tan interesante.

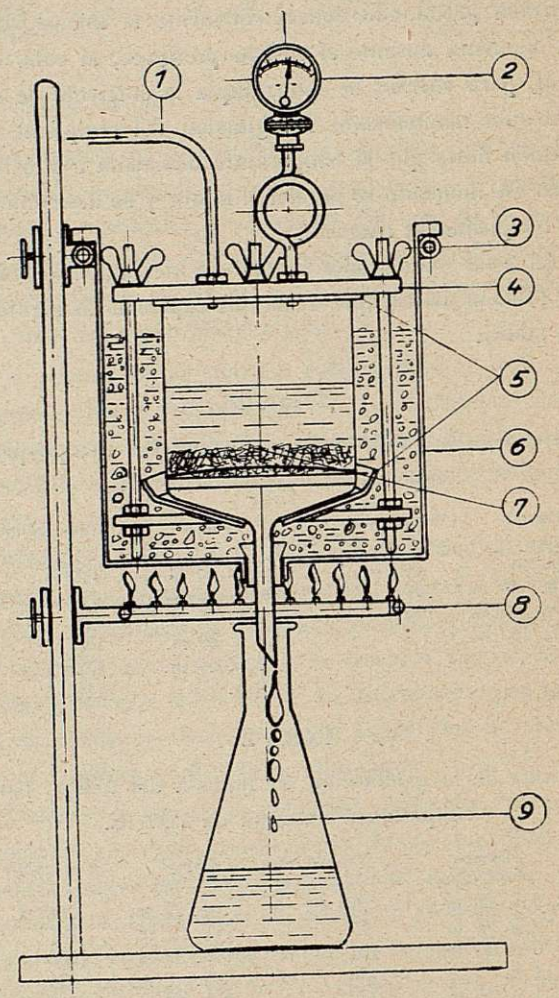
Separación de los productos de la reacción.

Una vez destapado el recipiente de reacción y extraído su contenido, cuando estaba todavía a 90-100° C., se filtraba a través de un embudo con fondo de vidrio poroso, tipo 2.563, de Schott y Gen.

Como la velocidad de filtración era muy pequeña y no podía utilizarse el vacío para acelerarla, puesto que se habría producido un descenso de temperatura y una evaporación del líquido obtenido que no era deseable, se acudió a la filtración a presión. Para obtener la necesaria sobrepresión se pensó comprimir el líquido mediante una atmósfera de nitrógeno. Esto obligó a idear un dispositivo adecuado para mantener y conocer a qué presión el nitrógeno actuaba sobre el líquido, cuya descripción es innecesaria, ya que en el esquema adjunto puede comprenderse su funcionamiento.

Mediante el sistema indicado se podía filtrar en menos de una hora el producto extraído del reactor y recoger el líquido sin modificar su composición.

La torta resultante de la filtración se sacaba del aparato mediante espátulas y se desleía íntimamente en 200 c. c. de una disolución de hidróxido sódico en agua, en la proporción de 100 grs. de Na_2O/litro y mantenida a temperatura próxima a la de ebullición.



1.-Entrada de nitrógeno. 2.-Manómetro. 3.-Aro soporte. 4.-Tapa cierre hermético. 5.-Aro de goma. 6.-Baño maría. 7.-Solución a filtrar. 8.-Aro mechero. 9.-Líquido filtrado.

Se prolongaba media hora el tratamiento, con objeto de extraer el aluminato sódico de que estaba embebido el residuo.

Las filtraciones y extracciones sucesivas de residuo con disolución de hidróxido sódico se repetían hasta seis veces, y los líquidos obtenidos se analizaban separadamente. Así se pudo comprobar siempre que no

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bastaban los cinco expresados lavados para eliminar la alúmina soluble en el último líquido. No obstante, como el método de lavado usado difícilmente podía mejorarse en una explotación industrial, y como el contenido del último líquido generalmente no era superior a un 2 % del óxido de aluminio extraído, se consideraba aceptable el resultado obtenido.

El residuo, en el cual se consideraba agotado el óxido de aluminio en forma soluble, estaba impregnado de hidróxido sódico procedente de los múltiples lavados a que se había sometido. Para eliminar este producto se realizaban 6 lavados con 300 c. c. de agua destilada hirviente, procediendo tanto para la filtración como para el lavado de la manera que antes se ha descrito.

A pesar de que el análisis de las últimas aguas de lavado demostraba que el líquido filtrado poseía todavía débil reacción alcalina, no se realizaban más lavados con agua, por los mismos motivos expuesto en el caso de la extracción de alúmina.

Como ejemplos de resultados obtenidos en la extracción de alúmina soluble por el método de lavados múltiples descritos se expone el caso correspondiente a una operación conducida a 170° C.

	Peso de alúmina Grs.
Líquido extraído del autoclave y filtrado	35,7
Líquido de lavar el lodo procedente filtración anterior.	21,62
» » »	4,84
» » »	1,48
» » »	0,93
» » »	0,90

Métodos de comprobación de los resultados

Para conocer el resultado de las operaciones de ataque se determinó en cada una de ellas el porcentaje de Al_2O_3 extraído del mineral, y las pérdidas de Na_2O sufridas.

Por «rendimiento de extracción de Al_2O_3» entendemos el cociente entre la cantidad de Al_2O_3 solubilizada del mineral por el ataque y la contenida inicialmente en el mismo.

La cantidad de Al_2O_3 extraída se determinaba haciendo un balance en el cual se anotaban, por una parte, la cantidad de Al_2O_3 contenida en el mineral utilizado en cada reacción, y la cantidad de Al_2O_3 introducida en forma de aluminato sódico con relación $Al_2O_3/Na_2O = 1/6$. Por otra parte, se sumaba el Al_2O_3 contenido en el «líquido primitivo» con el soluble en líquidos alcalinos y retenido por el estéril en forma de lodo rojo, cuya extracción y determinación se hacía por el método dicho.

Descontando de esta suma la cantidad de Al_2O_3 introducida en forma de lejía de aluminato se obtenía la cantidad de Al_2O_3 extraída del mineral por el ataque. Las pérdidas de Na_2O sufridas por los reactivos de ataque a consecuencia de su insolubilización por reacciones secundarias, se referirán a gramos de Na_2O perdido por 100 de $Al_2O_3$3 extraído.

Para juzgar cualitativamente y de manera rápida acerca de las pérdidas en Na_2O, bastaba comparar la relación de Al_2O_3/Na_2O en los diversos estériles obtenidos después de los tratamientos de eliminación de líquido primitivo y Na_2O soluble.

La cantidad de Na_2O insolubilizada por reacciones secundarias se comprobaba automáticamente en el estéril en el que se había extraído el Al_2O_3 y el Na_2O soluble, según el procedimiento antes descrito y multiplicando el porcentaje hallado de Na_2O por el peso de estéril obtenido.

La determinación del Na_2O insolubilizado por 100 gramos de Al_2O_3 extraído del mineral es sencilla, una vez conocido el peso de estéril, su contenido en Na_2O y el Al_2O_3 solubilizado en una operación. Para ello basta dar los valores correspondientes a los términos de fórmula,

$$P\,Na_2O = \frac{100 \,.\, E\,Na_2O\ (M\,Al_2O_3 - S\,Al_2O_3)}{E\,Al_2O_3 \times S\,Al_2O_3}$$

en la cual los símbolos no expresados anteriormente corresponden a:

$P\,Na_2O$ = gr. de Na_2O insolubilizados al extraer 100 gr. de Al_2O_3.

$E\,Na_2O$ = % de Na_2O en el residuo estéril.

A continuación se detalla un ejemplo de los cálculos realizados para computar los resultados de una operación.

Peso de mineral cargado: 100 gr.

Al_2O_3 introducido por el mineral = $M\,Al_2O_3$ = 62,1 gr.

Peso de aluminato cargado = 330 gr.

Al_2O_3 introducido por el aluminato = 23,1 gr.

Al_2O_3 total introducido en el aparato de reacción = 85,2 gr.

Al_2O_3 contenido en el primer líquido filtrado = 45,5 gr.

Al_2O_3 soluble retenido en el estéril en forma de lodo y extraído por lavado alcalino = 30,7 gr.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Al_2O_3 soluble total extraído del aparato de reacción = 73,2 gr.

Al_2O_3 solubilizado del mineral (el soluble en total, menos el introducido en forma de aluminato) = $S\,Al_2O_3$ = 50,1 gr.

$$\text{Rendimiento de extracción de } Al_2O_3 = \frac{S\,Al_2O_3}{M\,Al_2O_3} = 80,5\ \%$$

Datos analíticos sobre el estéril:

$$\%\ Al_2O_3 \text{ insoluble} = E\,Al_2O_3 = 28,0$$
$$\%\ Na_2O \text{ insoluble} = E\,Na_2O = 16,0$$

Peso del estéril = 43 gr.

$$\text{Gr. } Na_2O \text{ insolubilizado por 100 de } Al_2O_3 \text{ extraído} = \frac{100 \cdot E\,Na_2O\,(M\,Al_2O_3 - S\,Al_2O_3)}{E\,Al_2O_3 \times S\,Al_2O_3} = 13,7$$

lo cual equivale a una pérdida de hidróxido sódico de

$$13,7 \times 1,25 = 17,1\ \%.$$

CONCLUSIONES

Siguiendo la técnica detalladamente expuesta se realizaron ensayos con mineral crudo y con mineral tostado a 750° C., utilizando en ambos casos el método de Bayer clásico y operando a temperaturas de 170, 200, 250 y hasta 300° C. También se ensayó, tanto con el mineral crudo como con el tostado, la modificación propuesta al método Bayer por Müller-Hiller, vistas las ventajas económicas que de su aplicación se derivan. Finalmente, se hizo la prueba de si mejoraba el rendimiento la carga junto con el mineral de un 50 % en peso de hidróxido cálcico.

Para cada una de las condiciones de trabajo citadas se hacían varias operaciones, descartando las que por cualquier motivo (fuga o pérdida) no procedía de manera satisfactoria y se pasaba a ensayar otras condiciones cuando se obtenían 2 operaciones correctas. Como el estudio de cada operación es largo, no tan sólo por el trabajo preparatorio, sino por la considerable tarea analítica que comporta, y como el número de operaciones tuvo que ser bastante crecido, el tiempo empleado en este estudio fué de casi un año.

Los resultados obtenidos pueden resumirse, no obstante, brevemente, y son los siguientes:

1.° No se observa variación importante en el rendimiento de extracción del óxido de aluminio de nuestras bauxitas, por el hecho de que hayan sido tratadas o no por tostación a 750° C.

2.° Cuando se opera con disoluciones concentradas de aluminato, tal como propuso Bayer, el rendimiento de extracción de alúmina, al variar las temperaturas de trabajo entre 170, 200, 250 y 300° alcanza a 69, 83, 71 y 79 %, respectivamente.

3.° Si se usan disoluciones de aluminato diluídas según Müller-Hiller a 150, 200 y 250° C., los rendimientos de extracción de alúmina ascienden a 75, 86 y 88 %, respectivamente.

4.° Las pérdidas de hidróxido sódico (NaOH) en el método Bayer combinado en los lodos residuales en forma insoluble ascienden a 15 y 18 gramos por 100 gramos de mineral tratado, según que se opere a 170 ó 200° C.

5.° Las pérdidas de hidróxido sódico (NaOH), al beneficiar nuestras bauxitas mediante disoluciones diluídas, según el método de Müller-Hiller, son para 150 y 200° C. inferiores que en el caso anterior (8 y 14 gramos por 100 de mineral), pero ascienden todavía a 17,2 y 26,2 gramos de hidróxido por 100 de alúmina.

6.° La carga de hidróxido cálcico en el aparato de reacción, en una proporción del 50 % de mineral usado, induce a rendimientos de extracción de alúmina notablemente menores de los indicados en los dos procedimientos descritos.

En resumen, pueden sintetizarse los anteriores resultados diciendo que el elevado consumo de hidróxido sódico obtenido al beneficiar las bauxitas referidas hace antieconómico el método Bayer y sus modificaciones.

PROCEDIMIENTOS ÁCIDOS PARA BENEFICIAR NUESTRAS BAUXITAS

En el ataque de la bauxita mediante ácidos, la sílice no introduce pérdidas de reactivo, pero se producen aquéllas si el mineral tiene, junto a la alúmina, dosis altas de otros óxidos metálicos y, principalmente, óxido de hierro, a causa de la formación conjunta de sales de aluminio y de los restantes metales que contiene la mena.

La transformación de las sales de aluminio en óxido que tenga la pureza necesaria para que se pueda electrolizar y obtener metal, es operación que, si se ha de realizar directamente, es cara y requiere muchos cuidados. Por consiguiente, si se desea utilizar el ataque ácido de las bauxitas, hay que aprovechar algunas circunstancias especiales en que estos tratamientos

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

resulten baratos por la posibilidad de aprovechar subproductos, o de reutilizar reactivos en ciclo cerrado.

A nuestro parecer, existen dos casos particularmente interesantes, por permitir, uno de ellos, la recuperación íntegra de los reactivos usados, y exigir, el otro, el gasto de un ácido extraordinariamente económico y que puede reutilizarse en gran proporción; en tal caso las pérdidas están desprovistas de gravedad. El primero corresponde a la extracción de la bauxita mediante ataque sulfúrico seguida de una eliminación de la sílice por sedimentación de las disoluciones obtenidas y una ulterior reacción entre la disolución de sulfatos y el amoníaco para obtener, junto con sulfato amónico, los hidróxidos de aluminio y de hierro exentos de otras impurezas.

El ataque de la bauxita con ácido sulfuroso corresponde al otro caso indicado como favorable por la facilidad y economía con que se obtiene el sulfuroso, y la posibilidad de reutilizar en el ciclo una elevada proporción del mismo a causa de la propiedad que posee el sulfito de aluminio de descomponerse con facilidad en anhídrido sulfuroso y óxido de aluminio.

Los problemas de corrosión del material usado para realizar las operaciones descritas resultan mucho más simples que en el caso de preparar otras sales como, por ejemplo, nitrato o cloruro de aluminio, y esto es factor que pesa mucho para decidir la conveniencia de los sistemas propuestos. De aquí que los dos métodos señalados fueran considerados preferentemente.

En lo que sigue se exponen los ensayos realizados y las conclusiones a que se llegó por el estudio de los mismos.

MÉTODO AL ÁCIDO SULFÚRICO

Para ensayar el comportamiento de nuestras bauxitas frente a este reactivo, se partió de una porción de la misma muestra usada y oportunamente definida al tratar del método Bayer. Se empleó ácido sulfúrico comercialmente puro, y de las concentraciones que más adelante se expresan, ensayando la marcha de la reacción con mineral crudo y con mineral tostado a 750° C. En general, el ataque del mineral tostado se consigue en condiciones menos rigurosas que el del crudo, pero se sacó la impresión de que la insolubilización de la sílice separada era más perfecta y menor su capacidad ulterior de pasar a disoluciones coloidales durante los lavados a que deben someterse los residuos cuando se operaba con mineral crudo, lo cual, unido a la economía que representa el ahorro de la operación de tostación, hizo que no se considerase con más detenimiento el ataque del mineral tostado.

Aquí se expondrán únicamente los resultados del ataque del mineral crudo, prescindiendo de la última fase del proceso de preparación de óxido de aluminio antes descrito, o sea, la transformación de los sulfatos obtenidos en los hidróxidos correspondientes, por acción del amoníaco, ya que esto tiene interés menor, por no estar vinculado con las características especiales de nuestras bauxitas, sino que corresponde a un problema de química inorgánica corriente.

Por el mismo motivo no se exponen resultados relativos al desdoblamiento y ulterior purificación de la mezcla de hidróxidos de hierro y de aluminio resultantes, la cual resulta fácil y económicamente realizable por un tratamiento alcalino.

TÉCNICA OPERATORIA

Se han realizado los ensayos que se relacionan, utilizando los pesos de bauxita y ácido sulfúrico siguientes:

Peso de mineral, en todos los ensayos	10 gr.
Peso ácido sulfúrico de 55° Bé.	26.9 gr.
» » » » 46° Bé.	32 7 gr.
» » » » 37° Bé.	41 1/2 gr.

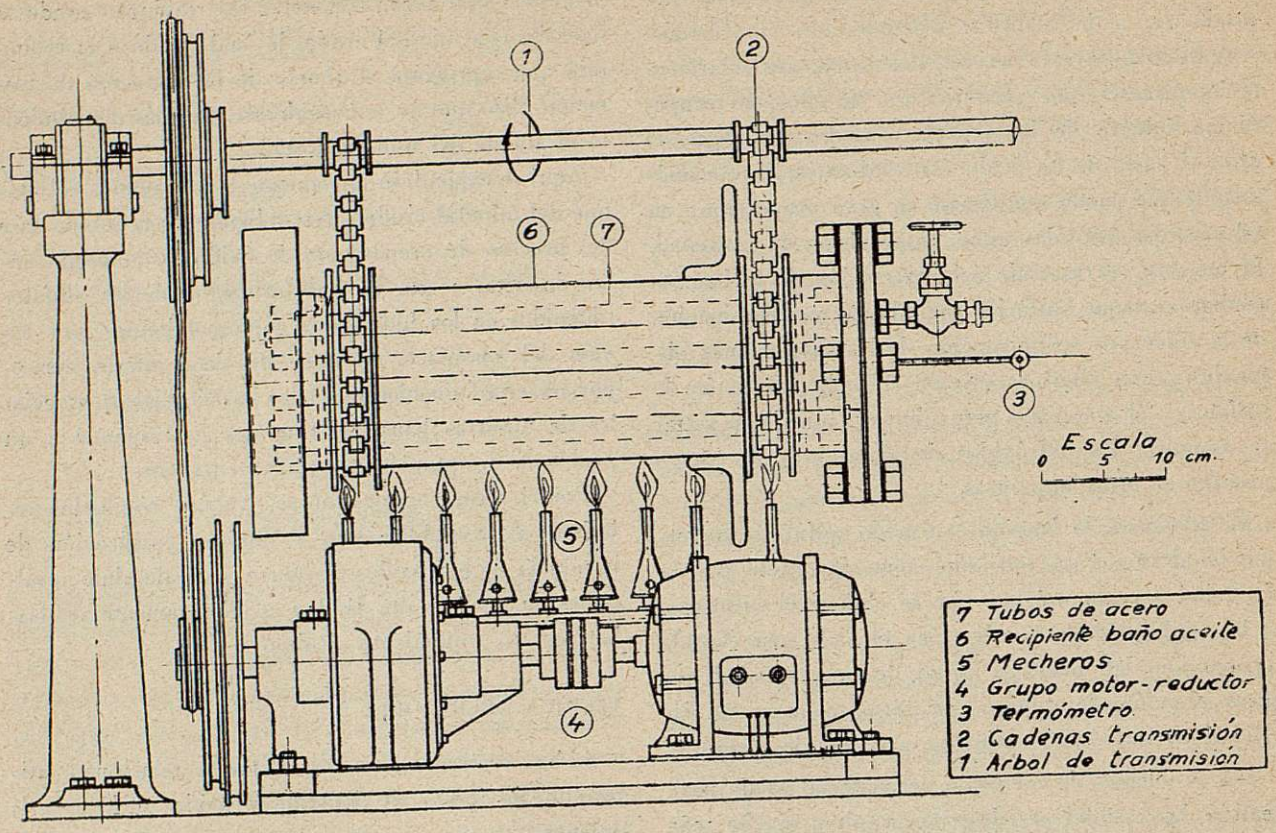
Análisis del mineral:

Sílice (SiO_2)	10,6 gr.	%
Alúmina (Al_2O_3)	62,2 gr.	%
Óxido férrico (Fe_2O_3)	8,2 gr.	%
» de titanio (TiO_2)	3.8 gr.	%
» cálcico (CaO)	0.4 gr.	%
Pérdida por calcinación	14,4 gr.	%

Los reactivos se cargaban en tubos de vidrio, resistentes al calor de 21 mm. de diámetro interior y 25 mm. diámetro exterior, los cuales se cerraban con la lámpara y se enfundaban dentro de tubos de acero que podían cerrarse herméticamente y en los cuales se cargaba 50 cm^3 de aceite mineral. Cuyo punto de inflamación era de 220° C. y viscosidad a 50° C. = 8,1° Engler.

Para acelerar las pruebas, se introducían 4 tubos simultáneamente en un baño de aceite herméticamente cerrado y que permitía dar movimiento rotativo a los tubos mediante una disposición que fácilmente se comprende examinando el esquema adjunto. La cale-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



facción se obtenía mediante oportunos mecheros de gas, y las temperaturas prescritas eran mantenidas con una precisión de ± 2° C.

Para elegir las condiciones óptimas de reacción se realizaron las siguientes operaciones:

Operación	Concentración Ácido	Temperatura ° C	Duración operación Horas
1	55° Bé.	150	3
2	55 »	150	4
3	55 »	150	5
4	46 »	150	3
5	46 »	150	4
6	46 »	150	5
7	37 »	150	3
8	37 »	150	4
9	37 »	150	5
10	37 »	130	3
11	37 »	130	4
12	37 »	130	5
13	46 »	130	3
14	46 »	130	4
15	46 »	130	5
16	55 »	130	3
17	55 »	130	4
18	55 »	130	5
19	37 »	110	3
20	37 »	110	4
21	37 »	110	5
22	46 »	110	3
23	46 »	110	4
24	46 »	110	5
25	55 »	110	3
25 bis.	55 »	110	3
26	55 »	110	4
27	55 »	110	5
28	37 »	110	2
29	37 »	110	1
30	46 »	110	2
31	46 »	110	1
32	55 »	110	2

En lo que sigue se refieren algunos de los resultados analíticos de las pruebas realizadas.

Operaciones realizadas a 150° C.

Con sulfúrico 55° Bé.

Ensayos	1.°	2.°	3.°
Peso insoluble	2,1	1,90	1,99
Insoluble %	5,75	5,2	5,45
Acidez g. Sulf.	1,5	1,4	0,34
Acidez %	4,1	3,8	0,95

Peso obtenido en todos los ensayos, 36,6 gramos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Con sulfúrico 46° Bé.

Ensayos	4.°	5.°	6.°
Peso insoluble	2,060	2,077	2,000
Insoluble %	4,84	4,85	4,7
Acidez g. Sulf.	0,6	0,4	0,32
Acidez %	1,46	1	0,75

Peso obtenido en todos los ensayos, 42,7 gramos.

Con sulfúrico 37° Bé.

Ensayos	7.°	8.°	9.°
Peso insoluble	2,220	2,291	2,383
Insoluble %	4,3	4,45	4,6
Acidez g. Sulf.	0,2	0	0
Acidez %	0,39	0	0

Peso obtenido en todos los ensayos, 51,51 gramos.

Operaciones realizadas a 130° C.

Con sulfúrico 55° Bé.

Ensayos	10.°	11.°	12.°
Peso insoluble	3,192	3,015	2,77
Insoluble %	8,7	8,2	7,5
Acidez g. Sulf.	1,2	0,9	0,6
Acidez %	3,2	2,46	1,6

Peso obtenido en todos los ensayos, 36,6 gramos.

Con sulfúrico 46° Bé.

Ensayos	13.°	14.°	15.°
Peso insoluble	2,945	2,600	—
Insoluble %	6,85	6,05	—
Acidez g. Sulf.	0 8	0.5	—
Acidez %	1,8	1,2	—

Peso obtenido en todos los ensayos, 42,7 gramos.

Con sulfúrico 37° Bé.

Ensayos	16.°	17.°	18.°
Peso insoluble	2,876	2,872	2,477
Insoluble %	5,05	5,55	4,8
Acidez g. Sulf.	4,2	4,3	4,0
Acidez %	8,1	8,3	7,7

Peso obtenido en todos los ensayos, 51,5 gramos.

Operaciones realizadas a 110° C.

Con sulfúrico a 55° Bé.

Ensayos	19.°	20.°	21.°
Peso insoluble	5,325	4,855	4 327
Insoluble %	14,6	13,2	11.8
Acidez g. Sulf.	15,7	17,2	13.9
Acidez %	43	47	38

Peso obtenido en todos los ensayos, 36,6 gramos.

Con sulfúrico a 46° C.

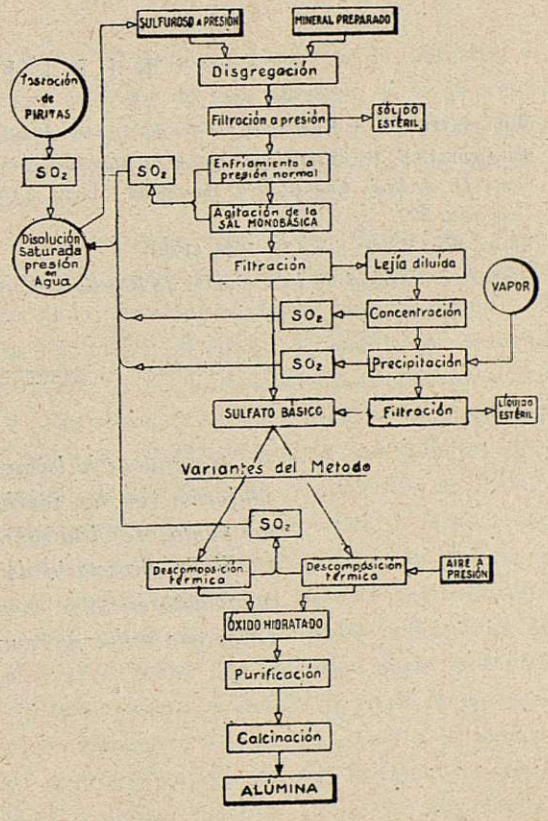
Ensayos	22.°	23.°	24.°
Peso insoluble	4,177	3,580	4,820
Insoluble %	9,7	8,9	11,2
Acidez g. Sulf.	5,2	4,8	3,9
Acidez %	12 1	12.2	9,1

Peso obtenido en todos los ensayos, 42,7 gramos.

CONCLUSIONES

De las determinaciones cuantitativas del óxido de aluminio extraído en los ensayos, que, por los resultados antes expuestos, demostraban corresponder a las mejores condiciones de ataque, se comprobó que el rendimiento de extracción de alúmina podía llegar a superar el 98 %, valor que por métodos alcalinos jamás se alcanza y que, coordinado con las restantes operaciones del ciclo propuesto (precipitación con amoníaco y extracción alcalina), permite suponer que el rendimiento final del tratamiento sería más alto, incluso que el correspondiente a los mejores obtenidos al operar con bauxitas normales.

MÉTODO DE ATAQUE CON ÁCIDO SULFUROSO



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ATAQUE CON ÁCIDO SULFUROSO

El beneficio de materias primas aluminosas ricas en sílice mediante el ataque con ácido sulfuroso ha sido estudiado a fondo, especialmente por el equipo técnico de la Veesin Aluminim Werke, y se basa en la posibilidad de extraer hasta el 80 % del óxido de aluminio contenido en los caolines —y, posiblemente, un porcentaje mayor si se parte de bauxita— por un tratamiento relativamente simple, ya que se opera a temperaturas inferiores a 80° C. y con presiones que pueden incluso ser la normal.

Las dificultades se inician al realizar las separaciones de la sílice que queda como residuo insoluble en la disolución de sulfito y el sulfito básico de aluminio, pero se trata de cuestiones de ingeniería química que pueden resolverse mediante aparatos y artificios adecuados. En síntesis, el método al sulfuroso puede esquematizarse como se hace en el gráfico que precede.

CONCLUSIÓN FINAL

Desde el punto de vista nacional de la industrialización de nuestros yacimientos de aluminio, parece que en los momentos actuales, en que existen dificultades de todos conocidas para montar concentraciones industriales como las exigidas para el aprovechamiento mediante el ataque con ácido sulfúrico y el tratamiento con amoníaco, el método con el ácido sulfuroso representa una coyuntura muy interesante y que merecería estudiarse experimentalmente con detenimiento, visto que, por las características propias del proceso, consta de una fase —la de purificar— que coincide substancialmente con el método de Bayer, y, por lo tanto, las instalaciones que se montasen permitirían simultanear el beneficio de bauxitas nacionales con el de las extranjeras, según exigiesen las circunstancias del comercio internacional.

Madrid, 1950.

BIBLIOGRAFÍA

(1) WILLSTÄTTER, R. y KRAUT, H.: *Ber. 56*, I, 149 (1923).

(2) TREADWELL, F. P.: *Tratado de Química Analítica*, 2.ª edición; *II. Análisis Cuantitativa*, Barcelona, Marín, 2.ª edición, pág. 569.

(3) BLUM, W.: *Amer. Soc., 38*, 1925 (1916).

(4) *American Chemical Society, Comité de Reactivos, Normas de Purezas de los Reactivos para Análisis.* Trad. por BUSQUES, C. Barcelona, 1941, pág. 179.

(5) FRICKE, R. y MAYERING, K.: *Z. anorg. Chemie 188*, 127-137 (1930).

(6) FRESENIUS, R. y JANQER, G.: *Handbuch der Analytischen Chemie*, 3. Teil; *Band III: Elemente der Dritten.*

Al terminar la lectura interviene el Sr. Aranguren para comentarlo, mostrándose conforme con las conclusiones propuestas, y luego que el Sr. Kindelán manifiesta sus puntos de vista sobre el tratamiento ácido de la bauxita.

El Sr. Secretario da cuenta de estar presentados los trabajos núms. 238 *y* 99 *cuyos autores no se encuentran en la reunión, que se reproducen a continuación, y de los que se lee su resumen:*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.º 238. - Los yacimientos de fosfatos sedimentarios del Sáhara español

Autor: D. MANUEL ALÍA MEDINA
Dr. en Ciencias Naturales

Al principio del año 1947, y como consecuencia de la interpretación de los datos que había recogido en mi tercera expedición a los territorios del Sáhara español, efectuada en el año 1945, llegué a deducir en Madrid, y teóricamente (1), la posibilidad de que existieran yacimientos de fosfatos sedimentarios en las capas cretácico-eocénicas de las formaciones de hamadas de aquellos territorios. Los análisis que para contrastar esta suposición se hicieron después con las muestras que poseía de tales formaciones de hamadas, me permitieron, en efecto, confirmar en el laboratorio dicha hipótesis, y luego, en una posterior expedición al Sáhara, que efectué en el verano de dicho año 1947, confirmar también sobre el terreno lo anteriormente establecido. Efectuado el descubrimiento hice entrega del mismo al Estado español, por intermedio de la Dirección General de Marruecos y Colonias, y tuve después el honor de entregar a S. E. el Jefe del Estado la primera muestra de fosfatos recogida. El Instituto Nacional de Industria se encargó entonces de esta cuestión, y, a su vez, encomendó a la Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Mineras, de la prospección de los referidos yacimientos.

Desde entonces y junto con el Ingeniero de Minas y querido amigo don José de la Viña y Villa, hemos efectuado posteriores viajes de exploración a aquellos territorios, al objeto de ampliar el conocimiento geológico de las formaciones hamadienses, y el señor La Viña se encuentra en el Sáhara español, desde noviembre de 1948, dirigiendo los trabajos de prospección de los referidos yacimientos de fosfatos sedimentarios. Los resultados hasta la fecha alcanzados permiten afirmar ya la existencia real de una importante riqueza minera en aquellas regiones, por todo lo cual, y siguiendo las amables indicaciones del Excelentísimo señor don Agustín Marín y Bertrán de Lis, tengo ahora el honor de exponer en este Congreso algunas consideraciones sobre la geología de los referidos yacimientos de fosfatos, los resultados hasta la fecha obtenidos en las investigaciones efec-

(1) M. Alía Medina: «El descubrimiento de los fosfatos del Sáhara español». Revista *África*, núm. 7, enero 1950.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tuadas y las posibilidades mineras que de los mismos pueden esperarse.

El Sáhara español está constituído, en sus líneas fundamentales, por el basamento arcaico del gran solar o escudo africano, que aflora en las regiones meridionales del territorio, y queda sepultado, en las medias y septentrionales del mismo, bajo una cobertera sedimentaria integrada por depósitos, principalmente marinos, del Cámbrico, Silúrico, Devónico, Carbonífero, Cretácio-Eocénico y Neogenos.

Este conjunto sedimentario se aloja, rellenándolas, en dos amplias zonas de depresión o hundimiento tectónico del viejo solar: una, la denominada de Tinduf, verdadera prefosa del Antiatlas (2), de la cual es paralela en su eje mayor, y la otra, la que denominé del Aiun o costera, situada al Oeste de la anterior y orientada según N.-NE. en su eje máximo. Esta última del Aiun, la que por ahora más nos interesa, tiene extensión aproximada de 500 kilómetros en su eje mayor por unos 200 kilómetros en el sentido de los paralelos.

En la referida cobertera sedimentaria de relleno, la serie cretácico-eocénica se localiza principalmente en las regiones más interiores de las mencionadas áreas de hundimiento tectónico, donde en superficie ocupa las mayores extensiones, en tanto que hacia los bordes de estas regiones hundidas aparecen, como ribetes delimitadores de las mismas, los sedimentos más antiguos de la serie de relleno, es decir, los sedimentos marinos paleozoicos. Sin embargo, en algunos lugares las capas hamadienses cretácico-eocénicas desbordan el dicho ribete paleozoico y vienen, de esta manera, a descansar directamente sobre los materiales antiguos del viejo solar emergido.

Las capas cretácico-eocénicas fueron depositadas por mares, en general, someros, los cuales alcanzaron sus mayores profundidades hacia las zonas interiores de las citadas depresiones, mientras que, por el contrario, muy poco profundos hacia los bordes de las mismas. Por esta razón es por lo que actualmente pueden distinguirse en los referidos sedimentos cretácico-eocénicos dos tipos de facies, como más importantes y extremas: una, la representada por sedimentos calcomargosos correspondientes a los depósitos de mayores profundidades, y otra, la representada por capas areniscosas, a veces con restos vegetales, pertenecientes a las zonas de borde, donde la sedimentación fué, en parte, de origen continental.

Una y otra facies de la hamada, la calcomargosa, de mares más profundos, y la silícea o areniscosa, de costa, parecen a primera vista enlazarse de una manera progresiva y gradual. Sin embargo, una observación más detallada permite asegurar que ambos términos extremos de la sedimentación se encuentran separados por regiones de características sedimentarias intermedias, las cuales, a su vez, se delimitan entre sí y también se separan de los indicados términos extremos, no de forma progresiva y gradual, sino, antes por el contrario, mediante zonas en las cuales el tránsito de facies se produce con relativa brusquedad. En definitiva, ello es debido a que las aguas de los referidos mares cretácico-eocénicos no depositaron sus sedimentos en cuencas de hundimiento de fondo progresivo y regularmente hundido, sino en cuencas cuyo fondo se presentaba compartimentado en una serie de amplias superficies o plataformas, que escalonadamente hacían descender el fondo hasta las zonas de máxima depresión.

Hay que añadir todavía, para completar este rápido esquema geológico, que los referidos sedimentos cretácico-eocénicos no se presentan actualmente en sus primitivas condiciones de depósito, pues posteriores movimientos, acaecidos durante los tiempos del eogeno, hicieron bascular los bloques de fondo y con esto a los referidos depósitos hamadienses que sobre ellos descansan, cuyas capas se encuentran por esto hoy ligeramente inclinadas, con distinta intensidad y dirección según las diferentes regiones. Y, por último, indicaremos que en algunos lugares, y como consecuencia de los indicados movimientos de las diversas unidades del edificio de fondo, se han desarrollado en superficie diversos niveles de arrasamiento pertenecientes a una serie policíclica de erosión, los cuales han motivado la destrucción, más o menos intensa, según los casos, de algunas capas hamadienses, y todavía, que en otras zonas se han superpuesto a estas capas otros sedimentos posteriores, bien sean los continentales, procedentes de la erosión antes indicada, o los de origen marino que fueron abandonados por las

(2) M. Alía Medina: «Contribución al conocimiento geomorfológico de las zonas medias del Sáhara español». Instituto de Estudios Africanos. Con. Sup. de Inv. Cien., Madrid, 1949.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

aguas transgresivas de los mares, que durante el Neogeno y aún el Cuaternario alcanzaron a cubrir las zonas más deprimidas y próximas a la actual línea de costa.

El estudio geológico de estas formaciones cretácico-eocénicas de las hamadas, y, desde luego, el minero de detalle, tropieza con bastantes dificultades. Las hamadas son, morfológicamente hablando, amplias plataformas, en cierto modo, semejantes a las de nuestros páramos castellanos, pero de mucha mayor extensión, que presentan superficie casi horizontal, cubierta generalmente por una costra caliza de origen desértico o por los sedimentos de última formación, y que aparecen limitadas, allá en sus lejanos bordes, por una zona de cantiles o cuestas donde puede, al menos, en muchos casos, estudiarse el conjunto sedimentario de la formación. Pero estos cortes, de tanto interés para los estudios estratigráficos, quedan entre sí muy distanciados, y así sucede que en grandes extensiones, a veces superiores a la centena de kilómetros, es imposible deducir por el reconocimiento directo del terreno lo que en el fondo se oculta bajo las horizontales y monótonas llanuras superficiales. Por otra parte, la escasa pero real inclinación de los sedimentos hamadienses y de las capas que a ellos se superponen, así como también la escasa inclinación de los distintos niveles de arrasamiento que, según antes dijimos, existen en aquellos lugares, hace que las deducciones por interpolación efectuadas a base de los datos conseguidos en las zonas de borde, donde existen los cortes topográficos, tengan que adolecer, en la mayoría de los casos, de falta de seguridad y de excesivo carácter hipotético.

En estas circunstancias y ante tales dificultades, se ha hecho preciso, para llevar a cabo los estudios geológicos de conjunto, complementar los datos obtenidos del estudio directo en las formaciones de hamada con los generales que pueden establecerse de las investigaciones efectuadas en las regiones inmediatas, y por lo que a las prospecciones mineras se refiere, efectuar perforaciones abundantes, al objeto de descubrir lo que en el fondo de estas amplias plataformas se oculta.

Es así como se hizo necesario, para llevar a cabo las determinaciones de los grandes rasgos geológicos de las formaciones hamadienses, efectuar al tiempo el estudio de los rasgos que definen la tectónica del conjunto del país, los cuales hemos podido ver que se repiten como normativos en la totalidad del territorio. De esta manera pudimos en un principio señalar los límites de las citadas depresiones tectónicas de Tinduf y del Aiun, y en esta última, señalar con posterioridad las zonas de mayores posibilidades mineras.

De especial interés a este respecto fué y continúa siéndolo el estudio de los regímenes de fracturación que condicionan la arquitectura del basamento que constituye el fondo de las citadas depresiones, dado que tales líneas de rotura son las que delimitan y separan entre sí los distintos bloques que, según antes decíamos, constituyen las plataformas escalonadas del fondo de las depresiones, y por consiguiente, están igualmente en relación con los cambios de facies y variaciones estratigráficas que se producen en los sedimentos cretácico-eocénicos de la cobertera. Por otra parte, al reactivarse estas líneas de rotura con posterioridad al depósito de la formación hamadiense, sirvieron, al menos, en muchos casos, de vía de ingreso para la acumulación en tales zonas de discontinuidad tectónica de los depósitos posteriores y a la vez canalizadoras para los procesos erosivos de mayor intensidad.

Las conclusiones más abundantes a este respecto las hemos podido obtener de las investigaciones efectuadas en las zonas de borde, donde el material rígido del solar arcaico, al mostrarse en superficie, despojado en grandes extensiones de los sedimentos de cobertera, deja ver con mayor claridad los rasgos que condicionan su arquitectura. Las expediciones que efectué en el verano del pasado año 1949 y en los primeros meses del corriente a las regiones arcaicas y algonquinas del Sáhara meridional español han proporcionado datos de interés en este sentido.

De esta manera ha podido llegar a concluirse que en el edificio de fondo existen dos sistemas principales de fracturación, aparte de otros de menor desarrollo o locales. Un primer sistema viene dado por líneas de falla que, orientadas según dos direcciones, la atlásica, es decir, la E.-NE., y la submeridiana, o sea, la N.-NE., adquiere el predominio en amplias zonas. El segundo sistema viene dado por el juego de otras dos direcciones de rotura: una, la NW, y la otra, aproximadamente, NE. Aunque es el primer sistema

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

el dominante en la tectónica del país, el segundo se hace ostensible y, a veces, toma el predominio en algunos lugares, especialmente en las zonas occidentales, donde, por cierto, se observa un interesante proceso de descomposición del viejo edificio hacia las zonas del fondo del Océano. Hemos llegado a generalizar las normas dadas por el juego de estos dos sistemas de rotura hasta las regiones de las depresiones tectónicas, donde la cobertera sedimentaria oculta la arquitectura del fondo y empasta, haciéndolas difícilmente perceptibles desde la superficie, las antes citadas directrices tectónicas o líneas de rotura. Así es como hemos podido señalar en aquellas regiones de relleno sedimentario los límites aproximados de las que pudiéramos denominar subcuencas, en las que las grandes depresiones, concretamente, la del Aiun, quedan divididas. Por consiguiente, los límites probables que separan las zonas de diferentes facies de las capas cretácico-eocénicas y, por tanto, las áreas que probablemente han de presentar mayor riqueza y abundancia en fosfatos.

Con todos estos datos se llegó, en definitiva, a situar las zonas de mayores posibilidades mineras, y actualmente se continúa investigando en este sentido con objeto de reunir, por consideraciones geológicas, el mayor número de datos sobre la formación fosfatada y orientar así, en lo posible, los trabajos de prospección minera.

La zona que actualmente se investiga es la que, por estas consideraciones de índole geológica, hemos supuesto como de mayores posibilidades mineras. Queda situada al Sur del poblado del Aiun y a muy corta distancia de la costa, y en ella fué donde encontré, en la expedición del verano de 1947, muestras de fosfatos sedimentarios con riqueza del 60 por 100 de fosfato tricálcico. Otro distrito de posibilidades mineras se sitúa al Norte del acabado de indicar, en la región occidental de la amplia plataforma del Gaada, pero en él, y por la gran amplitud que el primero presenta, no ha sido todavía posible iniciar las perforaciones. Las posibilidades mineras de este segundo distrito o del Gaada pudieran ser menores que las que parece presenta el más meridional o del Sur del Aiun, pues si bien es cierto que en las capas de esta formación del Gaada se han encontrado niveles de fosfatos, también es verdad que el arrasamiento posterior de las formaciones hamadienses en tales lugares parece haber sido más intenso que en las de más al Sur. Sin embargo, para discriminar con exactitud tales cuestiones sería preciso llevar a cabo reconocimientos de detalle acompañados de perforaciones, todo lo cual se proyecta efectuar para más adelante.

El distrito del Sur del Aiun, en el que actualmente se investiga, comprende gran parte de la plataforma del Izik y de las zonas situadas al Este y Oeste de esta región. Los límites de este distrito no están todavía bien determinados por las dificultades de reconocimiento que antes señalábamos; pero puede decirse, de acuerdo con los últimos datos obtenidos, que aproximadamente ocupa unos 3.000 kilómetros cuadrados: 60, según los meridianos, y 50, según los paralelos. Al Norte queda cortada la formación fosfatada de este distrito por el curso de la Seguía el Hamara y sus depósitos recientes, en tanto que hacia el Este se prosigue hasta regiones todavía no bien determinadas, en donde los niveles fosfatados se adelgazan y pierden riqueza. Por el lado occidental llega hasta muy cerca de la costa, donde la formación fosfatada queda cubierta por los depósitos marinos recientes, y, por último, hacia el Sur, el límite de dicho distrito parece se viene dado por una línea de falla profunda que, iniciada en la misma costa, se dirige hacia el interior con rumbo NW-SE. Esta línea de rotura corresponde al borde de un escalón profundo que separa dos bloques del basamento y que motiva un cambio de facies en los sedimentos cretácico-eocénicos hacia estos lugares.

Dentro de este dominio del Sur del Aiun, la plataforma antes mencionada del Izik que, a su vez, limitada por dos líneas de fractura de dirección submeridiana, que, en superficie, definen morfológicamente la mesa del Izik, la cual se levanta, como plataforma oblonga según N.-NE., sobre las plataformas más bajas del Este y Oeste, la costera y la del interior, de las cuales queda separada por el accidente topográfico de la zona de cuesta.

En el escalón occidental de esta plataforma del Izik, las capas cretácico-eocénicas quedan cubiertas por depósitos más recientes de dunas fosilizadas y depósitos continentales que impiden ver la formación fosfatada. Pero, en el lado oriental de dicha plataforma, las capas de la formación fosfatada se presentan al descu-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bierto, a lo largo de un frente de escarpa cuya base sigue el cauce del uad Itgui. Los afluentes que por el Este recibe este uad han disecado también parte de la plataforma situada hacia oriente de la del Izik, y permiten de esta manera reconocer en algunos puntos de tales zonas la continuidad de la formación fosfatada hacia dichos lugares.

Fué en estas regiones orientales del Izik, y aprovechando el frente de la escarpa mencionada, donde se hicieron los primeros trabajos de prospección minera mediante calicatas y demuestres, que después se han ido complementando con las perforaciones que luego indicaremos. Como resultado de tales reconocimientos se ha visto que, en definitiva, la formación cretácico-eocénica está constituída en tales zonas por las siguientes grandes unidades: Un complejo superior fundamentalmente silíceo, constituído por capas alabeadas de sílex blanco-amarillento. Unos horizontes típicos de sílex negro. Debajo, nueva serie de capas silíceas, que, a su vez, dan paso a unos horizontes margosos y calizos donde se encuentran los niveles de fosfatos. Por último, y sirviendo de base visible a la formación, unas capas de margas amarillentas y verdosas con yeso y foraminíferos. Por encima de todo este conjunto se encuentra una costra caliza de formación desértica, y en algunas zonas, depósitos de dunas fosilizadas de mayor o menor potencia, según los lugares.

Como se ha dicho, los niveles fosfatados se presentan en las capas margoso-calizas, con alguna intercalación de sílex, de las zonas intermedias del conjunto, las cuales corresponden a las de tránsito de los niveles cretácico a los eocénicos. Aparte de otros horizontes calizos y margosos fosfatados de menor interés, las capas que presentan hasta la fecha mayor riqueza son tres, a las que se las ha designado con los números romanos I para la más alta, II para la intermedia y III para la más inferior. El nivel I es el menos potente; tiene espesor aproximado de 0,50 metros a 0,60 metros y riqueza media de un 42 a 43 por 100 de fosfato tricálcico. El nivel II se presenta con mayor potencia, que va de 1,40 metros hasta los 2,30 metros; su riqueza es también variable, del 42 por 100 hasta el 52 por 100 de fosfato tricálcico. Este nivel II es muy típico por engastar en su masa gruesas concreciones silíceas, al igual de lo que sucede en algunas capas de los yacimientos de fosfatos del Marruecos francés. Y, por último, el nivel III, el más inferior, se presenta en los pozos en los que hasta ahora se ha cortado con potencia media de algo más de 1,50 metros y riqueza de un 50 por 100 de fosfato tricálcico. En estos niveles fosfatados son frecuentes los coprolitos y dientes de peces fósiles, y en ellos el techo está con frecuencia constituído por capas silíceas que en gran manera facilitan las labores.

Al objeto de complementar los datos obtenidos del reconocimiento directo en el mencionado frente oriental de la plataforma del Izik, y, como antes hemos indicado, se han efectuado una serie de perforaciones, mediante pozos, algunos de los cuales se han ubicado a lo largo de dicho frente oriental del Izik, otros en esta plataforma, y otros en el lado occidental de la misma, es decir, en la plataforma costera. La distancia máxima que separa a los pozos más extremos, viene a ser de unos 20 kms., tanto en el sentido de los paralelos como en el de los meridianos. El número de pozos perforados hasta la fecha es de 14; en algunos se ha pasado de la profundidad de los 70 m. En varios se ha hecho necesario parar los trabajos, en espera de la llegada de cabrestantes con motor para achicar el agua que en ellos se ha encontrado.

Como datos de especial interés que conviene destacar de entre los obtenidos con tales perforaciones, está, en primer lugar, el que se refiere a la continuidad de los niveles fosfatados en las zonas hasta ahora reconocidas. En efecto, sucede, que en aquellos pozos donde se han cortado hasta la fecha dichos niveles, se observa perfecta regularidad de la formación y continuidad de los indicados niveles de fosfatos. Las capas cretácico-eocénicas del Izik se presentan ligeramente inclinadas hacia el SW, pero siempre con la continuidad de facies y de niveles que se indica. Por ello es por lo que el Ingeniero señor La Viña, admite como ciertamente extraordinaria la perfecta regularidad de las capas fosfatadas, la cual considera que en extensiones tan grandes como en estos territorios, se dará quizá en contados lugares del mundo.

Otro dato de especial interés, que también conviene destacar, es el que se refiere a las riquezas encontradas en las perforaciones más meridionales de las que hasta la fecha se han efectuado. En efecto, en los po-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

zos números 13 y 14, como decimos los más meridionales, se han cortado, por debajo del nivel II, aquí de riqueza superior a la media de otros lugares, en niveles superiores al horizonte III, que todavía no se ha llegado a cortar, unas capas que en las otras perforaciones no presentaban gran riqueza en fosfatos, pero que aquí se encuentran fuertemente enriquecidas. A estos nuevos horizontes mineralizados se les ha designado como IIA y IIB, y presentan, respectivamente, potencias de 1,20 m. y 0,70 m. y riquezas del 60 por 100 y 62,43 por 100 a 63 por 100 de fosfato tricálcico. Entre dichos niveles se encuentra una capa de caliza fosfatada, la cual podría ser separada mediante estrío, en el caso de explotaciones en tales lugares, con lo cual podría obtenerse una capa de potencia útil de unos 2 m. y riqueza superior al 60 por 100 de fosfato tricálcico.

Es significativo, a este respecto, que dichos niveles IIA y IIB se presenten en las zonas más meridionales de las hasta ahora perforadas, las cuales dan frente a las regiones de más al Sur, todavía no investigadas, donde evidentemente parece proseguirse la formación en extensiones de varias decenas de kilómetros, y también es significativo, que en estos lugares del emplazamiento de los referidos pozos 13 y 14, las capas presentan en su conjunto mayor potencia y tendencia al enriquecimiento máximo.

Por esto tales perforaciones de los indicados pozos, han proporcionado últimamente las mejores realidades y a la vez las mejores esperanzas. De una parte, parece muy posible que la capa III, todavía no cortada en los citados pozos, dé valores en fosfato tricálcico superiores a los hasta la fecha encontrados, y por otra parte, se espera también hallar, hacia las zonas más meridionales, todavía no exploradas, niveles probablemente de mayor riqueza y enriquecimiento.

Después de este rápido esquema, trazado en los yacimientos de fosfatos del Sáhara español y los resultados actuales de la investigación minera efctuada, y como resumen de todo lo acabado de exponer, creo pueden establecerse las siguientes conclusiones de conjunto.

CONCLUSIONES

En primer lugar, que en el desierto español existe ya reconocida y como realidad indudable, una región de fosfatos sedimentarios. En este área reconocida, la hasta ahora perforada, la riqueza de las capas no llega a los valores máximos de otros yacimientos extranjeros, pero existen sin embargo, y como antes se dijo, niveles y lugares donde esta riqueza es lo suficientemente elevada para que pueda pensarse ya en las posibilidades de una explotación remuneradora.

Y en segundo lugar, que existe, en el distrito del Sur del Aiun, único en el que hasta la fecha se ha llevado a cabo la prospección minera, una amplia zona, todavía sin investigar y de mayor extensión que la por ahora reconocida, en la cual es muy probable que la formación fosfatada se prosiga en continuidad, y quizá con mayores riquezas de las que hasta la fecha han sido establecidas.

Son por estas razones por las que los técnicos que actualmente dirigen los trabajos de investigación, consideren que aquellos yacimientos de fosfatos sedimentarios de nuestro Sáhara, constituye ya una positiva riqueza minera, a cuya prospección deben dedicarse los mayores medios disponibles.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.º 99. - El magnesio, metal ligero español

Autor: D. HIGINIO GUILLAMÓN REYES
Ingeniero Industrial

0.—INTRODUCCIÓN

Como saben, y recordarán, el magnesio en estado puro es metal de color blanco argentino, de gran brillo, de fractura débilmente cristalina y dureza (tres), casi igual a la del espato calizo; es el más ligero de los metales empleados en la industria, soldable, forjable, y puede laminarse en chapas delgadas, estirarse en alambres, limarse y mecanizarse de modo fácil empleando herramientas de corte rápido a gran velocidad. Con relación al aluminio presenta una reducción de peso de $\frac{1,72}{2,7}$, igual a 36 % y mayor resistencia mecánica. Tiene conductibilidad térmica mediana. Su módulo de elasticidad a la tracción y la comprensión es pequeño, y a la torsión menor aún, lo que hace que se deforme poco. Funde a moderada temperatura (651º), y en el vacío se sublima, dando cristales hexagonales compactos. Su conductibilidad eléctrica es, aproximadamente, un tercio de la del cobre, y muy elevado su potencial electrolítico.

Químicamente, es potente reductor, tiene mucha afinidad con el oxígeno, combinándose con gran desprendimiento de calor, pero es estable al aire seco. El aire húmedo lo ataca superficialmente. Arde al aire a temperatura poco superior a la del punto de fusión, con luz blanca intensa, deslumbrante, rica en rayos actínicos, desprendiéndose un humo blanco de óxido. Su aspectro se aproxima más que el de ningún otro metal al del Sol. Se combina en caliente con el nitrógeno, a temperatura inferior a la de fusión, dando un nitruro pulverulento.

El agua fría no lo ataca, pero a la temperatura de 70º en adelante se hidroliza lentamente, formándose óxido y desprendiendo hidrógeno; análogamente, descompone el vapor de agua. En frío, resiste mejor a los ácidos minerales concentrados que a los diluídos. Los álcalis no lo atacan en frío; pero las disoluciones acuosas de las sales de amonio lo atacan, y lo mismo las disoluciones salinas.

Se combina con el cloro, el azufre, el fósforo, el carbono. Precipita los metales de muchas disoluciones acuosas de sus sales. Reduce, en caliente, a los óxidos, hidróxidos y carbonatos alcalinos y alcalinotérreos, con violencia semejante a una explosión, y a los de otros metales más pesados. También a los cloruros alcalinos y a las demás sales, con tanta mayor facilidad cuanto más distanciados se encuentran de él sus

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

metales en el sistema periódico. Se combina con derivados orgánicos, dando lugar a la famosa reacción de Grignard, motivo de muchas síntesis orgánicas. Forma aleaciones que mejoran notablemente todas sus propiedades, con gran número de metales.

Ofrece la curiosa propiedad fisiológica de que es absorbido sin peligro por los tejidos vivos, lo que hace que se lo emplee en la fabricación de instrumental quirúrgico.

Dos particularidades presenta que lo ponen en inferioridad, a saber: el riesgo de inflamación y la facilidad de corrosión. Por la primera, la explosividad del polvo de magnesio es alta, mayor que la del polvo de carbón, pero en masas grandes no es de temer. La corrosión se origina, principalmente, por la existencia de impurezas que hacen que el ataque progrese continuadamente en aire húmedo. La gasolina, petróleo y aceites lubrificantes, el alcohol, éter y tetracloruro de carbón, no tienen acción.

Sinópticamente, se resumen los valores numéricos de las características más importantes en la tabla siguiente:

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL METAL MAGNESIO

Peso específico a 20°	1,7388 gr/dm³
Peso específico líquido a 673°	1,562 gr/dm³
Punto de fusión	651°
Punto de ebullición	1.120°
Calor latente de fusión	70 cal/gr/gr.
Calor latente de vaporización	1.700 cal/gr/gr.
Calor específico (20 a 100°)	0,249 cal/gr.
Coeficiente de dilatación de 0 a 100°.	0,0000259
Conductibilidad térmica	0,350 cal.gr./cm²/°C/seg.
Resistividad eléctrica a 0°	4,31 $\mu\Omega$ /cm/cm²
Conductibilidad eléctrica a 0°	0,368 % del δ del cobre.
Susceptibilidad magnética a 18°	+ 0,55 H × 10^6
Dureza Brinell (fundición)	30 (10 mm. 500 kg. 30 seg.)
Esfuerzo de tracción	15 - 19 Kg/mm²
Alargamiento	6 %
Reducción del área	6 %
Esfuerzo de compresión	2.250 Kg/cm²
Esfuerzo transversal	2.250 Kg/cm²
Calor de combustión a MgO	146.000 cal/átomo gr.
Calor de cloruración a $MgCl_2$	152.00 cal/molécula/gr.
Potencial electrolítico	2,82 voltios.
Peso atómico	24,32.
Diámetro atómico	3,20 A.
Módulo de elasticidad a la tracción.	4.700 Kg/mm²
Ídem íd. a la compresión	4.700 Kg/mm²
Ídem íd. a la torsión	1.760 Kg/mm²
Coeficiente de Poissón	0,33.

Además del metal en sí mismo, son del mayor interés industrial muchos de los minerales del magnesio, bien sea para la fabricación de compuestos químicos, o para la de materiales de construcción de propiedades especiales. Entre los productos químicos es bien sabida la utilidad del óxido de magnesio para la fabricación de material altamente refractario resistente a los álcalis fundidos, aplicación en la que es exclusivo, en cerámica y en la industria del caucho como ingrediente y acelerador del vulcanizado; del hidróxido, para la preparación del óxido anterior, para la del carbonato potásico como materia intermediaria, para la de los compuestos orgánicos oleato, estearato y resinato, empleados en la desacidificación de los aceites vegetales y clasificación; del cloruro, para la impregnación de tejidos, a los que hace incombustibles; para la fabricación de cementos, como el Sorel, y para la obtención del metal, y también sirve de base para la preparación de productos puros de laboratorio y farmaceuticos; del oxicloruro, que se emplea modernamente como aglutinante en frío en la industria cerámica; del sulfato, para la fabricación de los sulfatos sódico y potásico, para la conservación de tejidos y en Medicina; del carbonato, también en productos farmacéuticos y de tocador, en curtición y como material aislante mezclado convenientemente con asbesto; del citrato, en preparados de farmacia; de los resinatos, en la industria de pinturas, como secantes.

En cuanto a los minerales, bastará citar que los carbonatos giobertita y dolomita son excelentes materias primas para las industrias de los productos refractarios básicos más apreciados. Los silicatos anhidros, la fosterita y, en general, los olivinos ricos en magnesia se están empleando en la actualidad mezclados con la giobertita para fabricar nuevos productos refractarios silicatados; los silicatos hidratados, como el talco y la serpentina, se emplean en la industria cerámica moderna siguiendo técnicas nuevas de aglutinación, y los asbestos se utilizan, además de como aislantes, en la fabricación de filtros y de fibrocementos; recientemente, figuran como materias industriales de gran importancia las micas magnésicas y vermiculitas, para fabricar ladrillos, piezas y tabiques aislantes del calor, notables por su pequeña densidad y mecánicamente resistentes.

Por último, se estudia muy a fondo la obtención de cuerpos nuevos a partir del magnesio, tales como ja-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bones, carburos, aleaciones, etc., y en las novísimas aplicaciones de la energía nuclear se está concediendo una misión importante a otro producto del magnesio, el sulfuro, que figura el segundo entre los 125 productos llamados «materiales reflectores», por su amplio poder de dispersión y elevado punto de fusión (2.000° C.), así como también al óxido, cuyo punto de fusión es todavía más elevado (2.800° C.), para la construcción de cubiertas protectoras de los aparatos reactores, que eviten el fenómeno de fuga de neutrones.

1.—MINERALES

El magnesio libre no se encuentra en la Naturaleza. Como elemento químico combinado abunda mucho, pues se calcula existe en la proporción del 2,24 % en la corteza terrestre. Los minerales de magnesio son muchos y abundantes, hasta el extremo de que por su cantidad pueden considerarse inagotables. Los más importantes, ordenados según su contenido de magnesio, de mayor a menor, son:

Periclasa (óxido magnésico)	MgO ... 60,0 % Mg.
Brucita (hidróxido magnésico)	$Mg(OH)_2$ ... 41,0
Giobertita (carbonato magnésico)	$MgCO_3$ ... 28,0
Olivino (ortosilicato ferrosomagnésico)	$SiO_4Fe_2 \cdot SiO_4Mg$ ... 28,0
Hidromagnesita (carbonato e hidróxido magnésico)	$3MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$ ... 26,0
Serpentina (ortosilicato ácido de magnesio)	$Si_2O_5H_2Mg_3$ ... 25,0
Talco (metasilicato ácido de magnesio)	$Si_2O_6H_2Mg \cdot 2SiO_3Mg$ ... 20,7 - 26,9
Espinela (aluminato de magnesio)	$(AlO_2)_2Mg$ (piedra preciosa) ... 17,0
Kieserita (sulfato de magnesio)	$MgSO_4 \cdot H_2O$ ... 14,0
Dolomita (carbonato doble de calcio y magnesio)	$CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ... 13,0
Bischofita (cloruro magnésico hidratado)	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ... 11,9
Langbeinita (sulfato de magnesio y potasio)	$2MgSO_4 \cdot K_2SO_4$ ... 11,0
Tachydrita (cloruro doble de calcio y magnesio)	$CaCl_2 \cdot 2MgCl_2\ 12H_2O$ ... 9,3
Kainita (mezcla de sulfato magnésico y cloruro potásico hidratado)	$MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$ ... 9,0
Carnalita (cloruro doble de potasio y magnesio)	$KCl \cdot MgCl_2\ 6H_2O$ ... 8,7
Astracanita (sulfato magnésico sódico hidratado)	$MgNa_2 \cdot (SO_2)_2 \cdot 4H_2O$ ... 8,2
Leonita (sulfato magnésico potásico hidratado)	$MgK_2 \cdot (SO_2)_2 \cdot 4H_2O$ ... 7,4
Shönita (sulfato de potasio y magnesio)	$K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$ ... 6,0

Entre las rocas ígneas lo contienen los anfiboles, micas, piroxenos y olivinos. De los silicatos comunes, el talco, clorita y serpentina. También los amiantos y asbestos son silicatos complejos. En las aguas de salinas la epsomita o sal de la Higuera (sulfato magnésico hidratado), de fórmula $MgSO_4.7H_2O$, con 9,75 % Mg. En el agua del mar las sales de Mg. suponen el 11 % de las mismas.

De esta amplia variedad de minerales sólo se utilizan como materias primas para la obtención del magnesio aquéllas que proporcionan preferentemente:

Cloruro de magnesio	$MgCl_2$
Carbonato magnésico	$MgCO_3$
Óxido magnésico	MgO

El cloruro magnésico se encuentra, a más de en la carnalita, cuyo mineral en el que representa el 25 %, aproximadamente, en las aguas de ciertos manantiales, y en las aguas saladas de lagos y de mares.

Industrialmente se obtiene de estas últimas y, con preferencia, de las aguas madres residuarias de las fábricas de tratamiento de sales potásicas, que benefician como sal potásica la carnalita, de la que se separa el ClK.

El carbonato de magnesio se presenta en varias formas polimoleculares, más o menos hidratado, pero sus yacimientos conocidos son poco abundantes.

El óxido de magnesio natural o periclasa es poco frecuente libre, en cantidad abundante, pero se obtiene sin dificultad a partir de la dolomita, que es suficientemente abundante, por calcinación o por substitución con la cal o mediante hidrólisis del cloruro magnésico por el vapor de agua; método éste de no muy buen éxito industrial.

En España, afortunadamente para nuestro desarrollo futuro, tenemos potencialidad extraordinaria de fuentes magnésicas. Si hacemos un resumen de los distintos minerales reconocidos hasta hoy en todas las provincias, se puede comprender, claramente, la importancia y profusión con que están repartidos en nuestro suelo, y juzgar de las posibilidades de su utilización como materias bases de compuestos químicos y

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

productos diversos de muy útiles propiedades. En efecto, la dolomita es el mineral más repartido, pues forma verdaderas masas montañosas de fácil explotación a cielo abierto. Se encuentra en 29 provincias, por lo menos. Siguen el asbesto, la esteatita y la serpentina, en 13; la epsomita y la hornblenda, en 11; la actinota y la augita, en 10; el amianto, en 9; la tremolita, en 8; la carnalita, la cordicrita y el talco, en 7; el olivino, en 6; la dialaga y la pinita, en 5; la diópsida, la giobertita, la glaucofana, la glauconia y la sepiolita, en 4; la ankerita, la axinita y la ottrelita, en 3; la broncita, la brucita, la espinela, la humita, la pennina y la saponita, en 2; minerales menos frecuentes, encontrados en una sola provincia, se reconocen 18, a saber: bercelita, boracita, breunerita, broncita, chamosita, clinohumita, clorofilita, delessita, enstatita, gedrita, gigantolita, gimnita, hiperstena, iberita, oligonita, pimelita, periclasa y polihalita. Abundan, también, las calizas y micas magnésicas.

2.—PROCEDIMIENTOS METALÚRGICOS

Cronológicamente, desde que este metal fué separado por reducción, en 1829, por Bussy, de una de sus sales, el $MgCl_2$, por medios netamente químicos, se ha ensayado obtenerlo en cantidad a escala industrial, según tres direcciones principales:

1.° Por métodos puramente químicos.
2.° Por métodos electrolíticos.
3.° Por métodos de reducción térmica.

De los tres caminos por los que se ha tratado de obtener libre el metal magnesio, el primero, de reducción química —consistente en liberar el magnesio de su cloruro fundido empleando el sodio como reductor, en contacto del fluoruro de calcio que sirve de fundente—, hubo de ser abandonado por resultar excesivamente costoso. Así, los procedimientos actuales de producción de magnesio han quedado limitados a los que siguen las dos últimas direcciones indicadas, y son:

a) De la electrólisis del cloruro anhídrido fundido.
b) De la reducción térmica del óxido.

Los procedimientos industriales electrolíticos tuvieron por base el buen éxito de los experimentos de Bunsen, quien logró, en 1852, obtener magnesio puro al estudiar la electrólisis del cloruro de magnesio anhidro fundido, y continúan, aun hoy día. Son los más generalizados y de mayor aceptación industrial, y han recibido su primer impulso de desarrollo en Alemania, Francia, Inglaterra y EE. UU. durante la primera guerra mundial, en 1914-18. En el intervalo de los años 1925 a 1927 fué ensayada por la American Magnesiun C.° la fabricación del magnesio, substituyendo en la electrólisis el cloruro anhidro por el óxido obtenido de la dolomita y de la giobertita, que resultaba más económico como materia de partida, pero la electrólisis de fluoruros era más difícil y se obtenía un metal tan impuro que obligaba a operaciones delicadas y onerosas de refino, y hubo de ser abandonado. El procedimiento de electrólisis de la carnalita, que fué de los primeramente practicados en Alemania, ofrece múltiples inconvenientes, derivados de la variación de la riqueza del electrólito, y del hecho de que resulta un metal con impurezas que lo hacen poco apto para las aplicaciones ulteriores.

Los procedimientos de reducción térmica del óxido se distinguen y diferencian según el reductor empleado de los que han sido ensayados como tales, el carbono, el silicio, el aluminio y el carburo de calcio. En todos, la reducción del óxido ha de efectuarse a temperatura superior a la de evaporación del magnesio, lo que implica operar en condiciones estancas y proceder a la condensación de los vapores de Mg que se forman.

La reducción del óxido por el carbono se verifica a temperatura de más de 2.000° C. La reacción es reversible, según la ecuación:

$$MgO \rightleftarrows Mg + CO$$

Este procedimiento, ensayado por la «Niágara Falls» (USA), hubo de abandonarse, si bien la «Austrian American Magnesit, S. A.», lo sigue utilizando perfeccionado, a base de enfriar los vapores de Mg seguidamente de salir del horno con hidrógeno de gas natural, y ha conseguido un metal mejor con menores gastos.

Para evitar los inconvenientes de la reducción por el carbono se lo ha substituído por el silicio (cuyo óxido requiere gran calor de formación y se evita la reversibilidad), que ofrece varias ventajas, como son la de verificarse a 1.500° y poderse utilizar directamente la dolomita o la giobertita, o actuar sobre el óxido, según la ecuación:

$$2\ MgO\ .\ 2\ CaO + Si = 2\ CaO\ .\ SiO_2 + 2\ Mg\ ,$$

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y resulta un metal compacto con gran pureza. Fué puesto en práctica por la «I. G. Farben Industrie» de Alemania.

El procedimiento de reducción por el aluminio fundido requiere sólo temperatura de 1.200°, pero ha de realizarse en atmósfera inerte o en el vacío, y se verifica según la ecuación:

$$3\ MgO + 2\ Al \rightleftarrows Al_2O_3 + 3\ Mg.$$

No se ha desarrollado industrialmente, porque el elevado precio del aluminio hace su empleo prohibitivo.

Finalmente, el método de reducción por el carburo de calcio es análogo en la forma de operar al anterior y se verifica según la ecuación:

$$MgO + C_2Ca \rightleftarrows CaO + C + Mg.$$

2.1.—*Preparación del cloruro magnésico.*—Visto, según se ha indicado, que el procedimiento en la actualidad más extendido y sancionado por la práctica es el de fabricación de magnesio por medio de la electrólisis del cloruro magnésico fundido, pasemos a considerar los procedimientos industriales de fabricación de este cloruro, que son:

a) Por recuperación del cloruro magnésico de las salmueras salobres.

b) Por cloruración del óxido.

En el caso *a*), el cloruro de cristalización que resulta de la concentración de las salmueras es hidratado, y contiene 6 moléculas de agua. La deshidratación se hace por cristalización fraccionada en dos fases. Se eliminan en la primera con relativa facilidad 4 moléculas de agua a 180°, obteniendo el compuesto: $MgCl_2.2H_2O$. La reducción definitiva de las dos moléculas de agua residuales en la segunda fase es mucho más difícil y requiere el empleo de técnicas especiales. Para reducir las cuatro moléculas primeras se efectúa un secado a contracorriente con aire seco, y para las dos últimas se recurre a varios procedimientos que eviten la descomposición del cloruro (por hidrólisis), en óxido y ácido clorhídrico, según la ecuación: $MgCl_2 2H_2O \rightarrow MgO + HCl$, por ser inadecuado para la electrólisis, entre los cuales se citan como más aconsejables los siguientes:

1.° La deshidratación en caliente en contacto con un cloruro alcalino, principalmente el de amonio, debido a que se forma la sal intermediaria $MgCl_2.NH_4Cl$, que pierde el agua de hidratación a 110° y que se desintegra a temperatura del rojo en sus componentes sencillos, el $MgCl_2$ anhidro y el NH_4Cl. Teóricamente, en este procedimiento el cloruro magnésico debe recuperarse, pero en la práctica presenta dificultades, por lo cual no se emplea en la industria, pues resultaría poco económico y sirve sólo en los ensayos de pequeña escala del laboratorio.

2.° Otro método de mayor interés es el que consiste en realizar la deshidratación de las dos últimas moléculas de agua en una atmósfera de gas de ácido clorhídrico a temperatura elevada, con lo que se evita la descomposición del cloruro. El gas clorhídrico puede recuperarse y volverse a emplear una vez seco. Este procedimiento es costoso económicamente por el desgaste que origina la acción corrosiva del ácido clorhídrico en los aparatos y de la instalación, por lo que exige el concurso de condiciones económicas muy favorables, de coste de las materias primas, de energía y de mercados muy absorbentes. Se ha empleado en gran escala por la «Griesheim-Elektron», en Alemania, durante la segunda contienda mundial, y por la «Dow Chemical C.°» de los EE. UU.

De todos modos, se ha de señalar que el cloruro no queda deshidratado por completo, pero puede utilizarse para el proceso industrial.

En el caso *b*), cuando no se dispone de salmueras que, con cierta riqueza de $MgCl_2$, sean de poco precio, y se tienen en cambio buenos yacimientos de giobertita o de dolomita en condiciones de explotación fácil, se recurre a la preparación del cloruro de magnesio anhídrido, clorurando el óxido obtenido mediante la calcinación de estos minerales. Las reacciones de reducción son:

A partir de la giobertita:

$$MgCO_3 = MgO + CO_2$$

Idem de la dolomita:

$$MgCO_3\ CaCO_3 = MgO\ .\ CaO + 2CO_2$$

$$MgO\ .\ CaO + MgCl_2 + 2H_2O = 2Mg(OH)_2 + CaCl_2$$

$$Mg(OH)_2 = MgO + H_2O$$

El óxido así obtenido se clorura directamente por vía seca, haciendo reaccionar cloro gaseoso sobre el óxido en contacto con carbón, que actúa de reductor,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

según la reacción siguiente intensamente exotérmica, estudiada por la I. G. Farbenindustrie:

$$MgO + C + Cl_2 = MgCl_2 + CO$$

o bien:

$$2MgO + C + 2MgCl_2 = 2MgCl_2 + CO_2$$

Para facilitar el ataque del óxido se preparan unos pequeños aglomerados cilíndricos, bien porosos, con los que se mezcla serrín de madera y turba. Se obtiene el cloruro de magnesio fundido anhídrido a unos 800°, con el que se alimenta la electrólisis a continuación.

Como variante de este método de cloruración, indicamos el tratamiento de las aguas madres residuarias de las salinas marítimas obtenidas del agua de mar, con la cal, para recuperar las sales magnésicas presentes, cloruro y sulfato de magnesio, que se precipitan en forma de óxido, conforme a las reacciones siguientes:

$$MgCl_2 + CaO = MgO + CaCl_2$$
$$MgSO_4 + CaO = MgO + CaSO_4$$

Separado el óxido de magnesio, se clorura del modo dicho anteriormente. Así se ha procedido en las importantes instalaciones montadas en el año 1941, en California, para beneficiar el 0,13 %, aproximadamente, de magnesio contenido en el agua del mar, por la «Dow Chemical C.°», con producción anual de 11.000 Tm. de metal magnesio.

Cabe indicar otra variante química más del procedimiento de cloruración, que consiste en substituir como agente clorurante el cloro gaseoso por el tetracloruro de carbono o el cloruro de carbonilo, y clorurar el óxido a menor temperatura, sólo de unos 550°, según las reacciones:

$$MgO + CCl_4 = MgCl_2 + COCl_2$$
$$MgO + COCl_2 = MgCl_2 + CO_2$$
$$2MgO + CCl_4 = 2MgCl_2 + CO_2$$

2.2.—*Obtención del magnesio por electrólisis del $MgCl_2$.* — Los perfeccionamientos introducidos en los últimos años en los aparatos y dispositivos de la electrólisis han sido muy importantes, y se ha llegado a alcanzar un grado tan avanzado de eficacia que se estima que, en lo sucesivo, probablemente, no será factible obtener más que mejoras de detalle, sin que se produzcan disminuciones de consideración en los rendimientos.

Los electrolizadores primitivos consistían en la célula clásica formada por una cuba de hierro fundido que servía de cátodo y un ánodo central de grafito rodeado de un diafragma de porcelana. La cuba se calentaba exteriormente a fuego directo o mediante gas, al objeto de suministrar el calor suficiente para la fusión del cloruro magnésico. El cloro desprendido de la electrólisis en el ánodo se evacuaba por un tubo adicional al diafragma en la parte superior. Para evitar la oxidación del metal liberado que sobrenadaba en el baño, se mantenía una corriente de gas inerte sobre el electrolito, procurando tapar la cuba lo más herméticamente posible, o se recubría con una capa de sal fundida. Posteriormente se ha prescindido, en algunas instalaciones, de la protección de gas inerte, por no ser necesaria.

En la actualidad los tipos de electrolizadores patentados y puestos en servicio son muchos. Como más interesantes se pueden citar los utilizados por la «Dow Metal C.°», de E. U. A., y la de «I. G. Farbeindustrie». La primera se sirve de una cuba rectangular de gran capacidad, capaz de contener varias toneladas de $MgCl_2$ fundido, de hierro fundido y ánodos de grafito.

Los tipos más recientes alemanes consisten en cubas de excelente estanqueidad, revestidas de material refractario, y en la que van dispuestos varios cátodos de hierro y ánodos de carbón con compartimientos estancos exprofeso para evacuar el cloro desprendido de un 97-98 % de pureza, que se utiliza para las necesidades de la cloruración del óxido. El baño se mantiene fundido a temperatura de unos 750°, mediante el mismo calor desarrollado por la electrólisis.

La capacidad de estos modernos electrolizadores varía en el orden de llegar a utilizar una intensidad de corriente de 16.000 hasta 20.000 amperios y tensión de 7 a 8 voltios, que es la más adecuada industrialmente para esta clase de electrólisis. La producción se cifra en 90 Kg. diarios de metal magnesio, con rendimiento del 90 % para una corriente de 16.000 amperios. La riqueza del metal, 99,5 %.

El consumo aproximado de corriente se valora en 20 Kw.-h./Kg. de magnesio, y rendimiento de corriente del 80 %. La densidad de corriente catódica es de hasta 2.500 amp/m² y más.

La composición del electrolito varía de unas fábricas a otras, según las circunstancias locales y las distintas patentes, en el sentido de modificar, bien sea el punto de fusión de la mezcla de cloruros y fluoruros

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que se utilice, bien sea su densidad, de modo que las esferitas de metal Mg que se vayan liberando puedan flotar y recogerse de la superficie.

La fábrica alemana de Hemelingen utilizaba la mezcla de:

41,66 % de $MgCl_2$
32,66 % de KCl
25,66 % de NaCl

100,00 %

La adición de fluoruros al baño aumenta su densidad, facilitando la reunión de las gotitas de magnesio y su flotabilidad. A este propósito, otra combinación es la siguiente:

75 % de $MgCl_2$
20 % de $BaCl_2$
5 % de CaF_2

La conductibilidad eléctrica del electrolito disminuya al aumentar la temperatura del baño.

23. *Refino del magnesio bruto.*—El magnesio electrolítico obtenido no es absolutamente puro, por contener inclusiones de cloruros, óxidos y nitruros que lo impurifican, y que pueden ser, al emplearlo, motivo del fenómeno de hidrólisis, especialmente en los cloruros, que desencadenaría un proceso de corrosión progresiva, de una falta de resistencia del mismo o de las piezas que se obtengan de sus aleaciones.

Para purificarlo se pueden seguir cuatro procedimientos, a saber:

a) Mediante nueva fusión cubriéndolo con una capa de sales.

b) Idem sublimación en atmósfera inerte.

c) Idem volatilización de las impurezas.

d) Idem nueva electrólisis de refino.

El primer método, que es el más empleado industrialmente, pues permite la descloruración completa de los cloruros, consiste en fundir en crisoles el magnesio bruto bajo una capa de mezcla de sal común y espato de fluor, de densidad mayor que el magnesio fundido y de viscosidad conveniente, de modo que, al hundirse las sales por decantación, arrastren al fondo las impurezas en suspensión. Parte de la mezcla de sales queda en la superficie formando una costra que protege al magnesio del contacto del aire. En estas condiciones tiene una pureza de 99,8 a 99,9 %, y puede moldearse o lingotarse para su ulterior aplicación. Esta pureza es suficiente para la preparación de las aleaciones normales, tanto ligeras como ultraligeras.

El método de sublimación consiste en destilar el metal a temperatura poco inferior a la del punto de ebullición, a unos 600° C., pero con un vacío del orden de 1 mm. de columna de mercurio. Los vapores condensados forman arborescencias de gran pureza, mayor de 99,995 % de magnesio. Para utilizar el metal han de volverse a fundir de nuevo las arborescencias en medio de una atmósfera inerte, que puede ser de gas argón, de sólo unos pocos centímetros de presión. La operación en estas condiciones es discontinua, delicada y costosa, y no se ha generalizado industrialmente.

El método de volatilización consiste en inyectar a la masa fundida del magnesio impuro una corriente de hidrógeno o metano, de tal modo regulada en intensidad y temperatura, que puedan volatilizarse las impurezas.

El método electrolítico es, con el de fusión, el segundo más adecuado a las posibilidades industriales.

3.—EMPLEO DEL MAGNESIO

Las aplicaciones de este metal se han ido extendiendo considerablemente en estos últimos tiempos hasta convertirse en una materia imprescindible en la vida moderna. Aparte de las netamente químicas, debidas a su propiedad de agente reductor de primer orden, que permite, en Metalurgia, obtener con extrema pureza ciertos metales, como el cobre, la desoxidación de latones, del bronce, del níquel, etc.; útil para la preparación del silicio, del boro, del potasio; la metalización del níquel, y otras, están las derivadas de su aptitud para formar aleaciones ligeras y ultraligeras, típicas de su poco peso específico, con otros metales que posean características mecánicas o de tratamiento térmico, o de adaptabilidad a la fundición o anticorrosivas superiores a la del magnesio mismo, por las cuales ha adquirido su rápida y extraordinaria importancia de todos conocida y, especialmente, la del estudio de las disoluciones sólidas y compuestos definidos intermetálicos que de él se originan.

El uso de las aleaciones de magnesio se ha generalizado en aplicaciones muy diversas por razón de su poco peso y elevada resistencia mecánica, especialmente en las construcciones aeronáuticas, ferroviarias, automovilísticas y náuticas, en la industria textil, en la

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de maquinaria eléctrica y de transporte de energía, en la de material y equipo militar.

Las aleaciones de magnesio se dividen, principalmente, en dos grandes grupos: binarias y ternarias. En las binarias la cantidad de metal aleado no excede de 10 a 12 %, y el 90 a 88 % es magnesio. Los metales de adición son, especialmente, el aluminio, el cinc, el cobre, el manganeso y, en menos cuantía el silicio, el cadmio, la plata, el calcio, el cerio y el circonio.

El aluminio y el cinc dan propiedades de tratamiento térmico, a la vez que elevadas características mecánicas y fluidez y ductibilidad.

El cobre aumenta la conductibilidad térmica y la dureza en caliente, pero ayuda a la corrosión.

El manganeso facilita la soldadura y le aumenta la resistencia a la corrosión.

El silicio comunica buena conductibilidad térmica y coeficiente de dilatación pequeño.

El cadmio mejora las aleaciones de forja y prensa.

La plata aumenta la resistencia a la tracción.

El calcio mejora las propiedades de fusión.

El cerio actúa como oxidante y afina el grano, aumentando la resistencia y la dureza especialmente en caliente, y facilita el laminado en frío.

El circonio afina de manera excelente el grano.

Ultimamente se han obtenido aleaciones ternarias de magnesio-cinc-circonio que presentan excelentes propiedades de fluidez, gran resistencia a la fatiga y extraordinaria resistencia a la rotura, alrededor de 50 Kg/mm^2, y aleaciones cuaternarias de magnesio-cinc-circonio y de tierras raras que mantienen intactas sus propiedades mecánicas a temperatura hasta de 200° C.

También el tratamiento térmico consigue dar a las aleaciones propiedades complementarias.

Las facilidades de mecanizado que ofrecen todas las aleaciones de magnesio, que, aun sin lubricación y a las mayores velocidades, no se produce el embotamiento de la herramienta, es ventaja muy estimable. En trabajos de torno permiten velocidades de corte en marcha de desbaste de 500 m/min. con útiles de acero fundido; de 750 a 1.000 m/min. con útiles de acero rápido y, en trabajos de acabado, de 1.500 m/min. con útiles de aceros especiales al tungsteno.

Respecto a las aleaciones ligeras de aluminio, a igualdad de resistencia mecánica se obtiene una reducción en peso de 25 a 30 %, y, respecto de las de acero, del 40 % por lo menos.

La notable ligereza de peso que se consigue en las aleaciones de magnesio tiene especial importancia cuando se trata de órganos o máquinas que están sometidos a movimientos alternativos, a grandes velocidades o de rotación, pues al disminuir de peso disminuye la fuerza viva con que están animados, la fuerza centrífuga y la inercia, y resulta, por consumo menor de energía, más fáciles el frenado, el retroceso y aun el arranque, condiciones en las que aventajan al duraluminio mismo.

Notable es que la masa de las aleaciones absorbe y transmite menos las vibraciones que el acero, por lo que se han empleado con ventaja en la construcción de ruedas y de elementos sustentadores de aviones, autobuses, tranvías y vehículos ferroviarios.

Para aviones se construyen piezas fundidas tan importantes como «carters» de motores, «carters» de magneto, cuerpos de bombas para circulación de líquidos y de carburadores, «paliers», frenos, trenes de aterrizaje, ruedas, instrumentos de a bordo, asientos, piezas de fuselaje, etc.; piezas forjadas o matrizadas a presión, como hélices, émbolos, bielas, bancadas de motores, rotores de turbo-compresores, etc., y chapas de palastro que se pueden embutir sin inconvenientes y soldar con la autógena y con la eléctrica, y que sirven para construir depósitos de esencia y de aceites, para revestir los planos, «alerones», capotas de los motores, carenas y el fuselaje.

En estas aplicaciones predominan, indiscutiblemente, las aleaciones de magnesio; los constructores norteamericanos Northrop, Douglas y Lookheed las emplean con ritmo creciente, y los ingleses ya en la pasada guerra llegaron a utilizar un 95 % de las mismas en ciertos órganos de los aviones. La novísima creación de los aviones de turbo-reacción ha provocado intensa demanda de aleaciones de magnesio.

En ferrocarriles, en la construcción de unidades automotoras rápidas, especialmente, se han conseguido reducciones de peso del 70 % en comparación con un tren normal.

En la construcción de automóviles forman parte de las piezas de motores, «chasis» y ruedas y de muchos accesorios. Lo mismo en la construcción de «motos» y de bicicletas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En construcciones navales para accesorios de las partes altas de los buques, como son la carpintería metálica, pasamanos, etc., y botes de salvamento.

En la industria eléctrica, para motores y multitud de aparatos, en barras conductoras de gran sección para líneas de alta, con la ventaja de poder soldarse con mayor facilidad que las de aluminio.

En la industria militar, para ruedas de cañones, equipos de campaña, sanitarios, instrumentos ópticos, bandas de forzamiento de granas en substitución del cobre y, en lo que es insubstituíble, por el momento, el magnesio es en la fabricación de bombas incendiarias.

En la industria textil y de la hilatura, donde la característica de los mecanismos y de todo el material es moverse a gran velocidad, la construcción de gran parte de los mismos con aleaciones magnésicas ha permitido reducciones de peso hasta un 65 %, con lo que se ha ahorrado energía motriz, o bien se ha podido aumentar la velocidad de los órganos, eliminar vibraciones y obtener producción más regular y mayor.

Finalmente, en otras muchas industrias se van imponiendo estas aleaciones, sobre todo en aquéllas en las que el aligeramiento del peso es factor esencial, como ocurre en los aparatos de elevación, de transporte suspendido, de ventiladores, poleas, etc., a los cuales aportan, además, la ventaja de una elevada resistencia y notable rigidez.

En un estudio de la Cía. Dow, se estimó que el consumo del metal magnesio en la postguerra se repartiría entre las distintas industrias en las proporciones siguientes:

45 %	en	fabricación	aeronáutica.
11 %	»	»	de automóviles, camiones y autobuses.
21 %	»	»	de maquinaria industrial.
8 %	»	»	de muebles y otros artículos de uso doméstico.
5 %	»	»	de aleaciones de aluminio.
10 %	»	»	química y fotográfica.
100 %			

Con todo, la metalurgia de las aleaciones de magnesio está aún en los comienzos de lo que han de ser sus aplicaciones más inmediatas, y puede esperarse para el futuro un desarrollo mundial de la misma todavía más sorprendente que el conocido antes de que llegue a alcanzarse el cenit de sus posibilidades.

4.—ASPECTO ECONÓMICO DE ESTA INDUSTRIA

La supremacía industrial de la fabricación de magnesio fué ejercida por Alemania antes de la segunda conflagración mundial, hasta el año 1943, en que los E. U. A., mediante la erección de sus grandes fábricas modernas, consiguieron producción superior al triplo de la que obtenía Alemania, y continúa manteniendo actualmente el primer lugar como nación productora. El incremento de la producción de magnesio durante los años de guerra no ha tenido precedente en la historia de la Metalurgia, debida a la exorbitante demanda del mismo como metal de preponderante importancia militar, y al interés extraordinario con que el Estado norteamericano ayudó económicamente a la construcción de las instalaciones necesarias. Es sorprendente la celeridad con que se sucedieron los acontecimientos en la vida de los negocios industriales de Norteamérica. En efecto, el Estado invirtió durante estos pocos años cerca de 400 millones de dólares para la creación de esta industria de emergencia, contribuyendo al desarrollo de 13 instalaciones de metal magnesio primario, 11 instalaciones de fabricación y su equipo y 14 instalaciones privadas, que en 1944 daban ocupación a 50.000 empleados.

La conocida Compañía «Dow» fué la primera en fabricar y adquirir experiencia en la obtención del magnesio, ya que en 1915 comenzó utilizando el proceso de electrólisis del cloruro magnésico fundido que extraía de una salmuera natural. En 1943, la «Dow» intervenía el 44 % de las fábricas de producción de magnesio y suministraba el 61 % del total producido en los EE. UU. En 1944 se cifraba que la capacidad productiva había aumentado 80 veces a la de 1939. En 1945 el 92 % del magnesio producido era procedente de las instalaciones estatales, y el 8 % restante de instalaciones particulares.

Según la materia prima y el procedimiento de obtención, el número de empresas y la capacidad de producción anual de las mismas, era:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

	Núm. de Empresas	%	Capacidad Tm.	Inversión del Estado. Miles de Dólares
Instalaciones que utilizaban salmueras naturales (Procedimiento de cubas electrolíticas)...	4	60,94	283.000	178.400
Instalaciones que utilizaban líquidos residuales (Procedimiento electrolítico «Dow) ...	4	17,05	79.200	81.600
Instalaciones que empleaban agua del mar (Procedimiento electrolítico «Dow»)	2	8,61	40.000	63.300
Instalaciones que empleaban dolomita (Procedimiento de reducción térmica «Pidgeon») ...	6	13,40	62.200	49.200
Totales	16	100,00	464.400	372.500

De conformidad con esta tabla, corresponde un 86,6 % al procedimiento electrolítico, y sólo el 13,40 % restante al de reducción térmica que emplea como bateria prima la dolomita.

A decir de De Mille, en los Estados Unidos se abandonó en 1927 el procedimiento de reducción del óxido de magnesio por el carbón, y se optó por el cloruro, vía electrolítica, que era más económico y proporcionaba un metal de mayor pureza (> 99,8 %).

Actualmente, en este período de paz, la capacidad de las instalaciones existentes es superior al consumo, y ha habido que cerrar algunas empezando por las menos rentables, que obtenían el magnesio a un precio demasiado caro.

En efecto, W. Stuart y Symington, administrador del Departamento de Propiedades Excedentes, indica el 7 de diciembre de 1945, en su quinto informe al Congreso, relacionado con la disponibilidad de las distintas industrias, la conveniencia de suspender toda producción en las instalaciones estatales de magnesio, y aconseja que un tercio de dichas fábricas se mantuviesen en reserva para casos imprevistos y como garantía para la seguridad nacional. El 10 % restante, propiedad del capital privado (tres instalaciones con una capacidad de 30.000 Tm.) bastarían para cubrir las necesidades civiles durante los próximos años.

El 60 % de la capacidad fabril, que no debía aprovecharse o mantenerse en reserva, debía venderse o arrendarse «para otros propósitos distintos que la producción de Mg.», desmantelarse o convertirse en espacio disponible para el almacenaje. Las instalaciones que convenía conservar para casos de necesidad en calidad de reserva habían costado al Estado 103.500.000 de dólares. Estas seis fábricas poseían una capacidad productiva de 87.000 Tm. anuales de magnesio metal, y son las siguientes:

	PRODUCCION			Inversión del Estado Dólares
	Tm.	Tm.	%	
2 Instalaciones que empleaban agua de mar.	8.000 32.400	40.400	46,30	8.200 55.100
1 Instalación que empleaba líquidos residuarios	16.200	16.200	18,55	14.600
3 Instalaciones que empleaba dolomita	4.500 4.500 21.700	30.700	35,15	4.700 4.800 16.100
6		87.300	100	103.500

De las seis instalaciones que convenía guardar en reserva, tres eran de procedimiento electrolítico y representaban el 64,85 % de la capacidad de producción, y las otras tres del procedimiento de reducción térmica, con capacidad de producción del 35,15 %.

Lo anteriormente expuesto es suficiente para dejar sentadas las dificultades financieras con que tropieza esta industria, y que el procedimiento de mayores posibilidades industriales es el de electrólisis del cloruro de magnesio.

De Mille enumera los siguientes obstáculos que se presentan a la industria actual norteamericana del magnesio:

1.° El coste del magnesio es más elevado que el de los metales de competencia.

2.° La falta de un personal técnico suficientemente especializado.

3.° La resistencia de los consumidores a usar y adaptar nuevos materiales.

4.° Los efectos restrictivos que origina, prácticamente, el monopolio ejercido sobre esta industria por uno o dos productores.

4.1.—*Precio del magnesio.*—Paralelamente al aumento de la producción mundial, el precio de este metal ha ido bajando en el mercado. En Estados Unidos la Compañía Química «Dow» fué reduciendo los precios del modo siguiente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Año	Precio	Año	Producción de los EE. UU.	Año	Producción Mundial
1915	5,00 $/libra				
1918	1,81				
1922				1922	300 Tm.
1925					
1927	0,67			1927	1.800
1930				1930	1.500
1933				1933	2.500
1934	0,26			1934	6.000
1938		1938	2.100 Tm.	1938	25.000
1939		1939	3.000	1939	33.600
1940		1940	6.261	1940	44.900
1941		1941	16.295	1941	103.000
1942		1942	48.963	1942	140.000
1943	0,205	1943	180.000	1943	269.000
1944		1944	168.337		
1945					
1946		1946	30.000 (previsto)		

Adviértase que las cifras de producción se desconocen con exactitud y que discrepan según las fuentes de información que se utilicen. Las aquí citadas se han recogido de varias procedencias, y, aunque sólo aproximadas, sirven para compararlas y comprender el desarrollo exuberante de esta industria.

Por las ventajosas cualidades de resistencia mecánica y a la corrosión conseguidas en las modernas aleaciones, y debido a su poco peso específico, resulta, en definitiva, un metal económico de utilización. Como metal de fundición se lo considera el más económico de todos.

Las naciones productoras de magnesio son, por orden de importancia, Estados Unidos, Canadá, la U. R. S. S., Inglaterra, Francia, Italia, Alemania, Corea, Noruega, Suiza y Australia.

Evidentemente, las posibilidades de que se desarrolle una industria del magnesio en cualquier país, dependerán de sus posibilidades de colocación del metal producido, y, sobre todo, de que aquél pueda contar con materias primas de escaso coste y energía eléctrica abundante barata.

El precio de coste de la «Dow» era el de 12 centavos/libra, mientras que las instalaciones estatales que fueron cerradas por producir demasiado caro tenían un coste de 18,7 a 73,3 centavos/libra, según se informó debido a «su emplazamiento poco adecuado».

5.—LA POSIBLE SOLUCIÓN NUESTRA

Recordando, sin más, lo manifestado en septiembre de 1945 por la Comisión senatorial norteamericana encargada de amplio estudio sobre la industria de los metales ligeros, la cual informó al Senado que «la abundancia del magnesio resultaba necesaria si los Estados Unidos intentaban conservar la supremacía en el aire, que era, igualmente, indispensable para el progreso y para la prevención de guerras futuras», se comprenderá cuán grande es la importancia que se confiere a este metal, su elevado interés industrial, militar y estratégico, y la posibilidad de que se utilice cada vez en mayor proporción para nuevas y todavía insospechadas aplicaciones.

En el balance de los procedimientos técnicos, según los cuales se obtiene el magnesio para uso industrial y fabricación de sus aleaciones, corresponde el:

8 % al procedimiento de reducción del óxido por el carbón.

20-22 % al procedimiento de reducción de la dolomita calcinada por el ferrosilicio.

70-72 % al procedimiento de electrólisis de cloruro magnésico.

Por lo que respecta a España, que es uno de los pocos países del mundo (una media docena) que posee gigantescos depósitos de minerales magnésicos, precisamente de cloruro en las carnalitas, en los yacimientos de sales potásicas, cuya estimación somera ha puesto de manifiesto reservas en cantidades ingentes, y que a semejanza de como lo hizo Alemania con sus sales de Stassfurt, deriva su producción de magnesio metal en calidad de producto secundario de la industria potásica por el beneficio del cloruro magnésico contenido en las aguas residuales resultantes de tratar las carnalitas como mineral potásico, con lo cual este cloruro vendría a ser una materia prima casi sin valor, y, por ello, obtener el metal muy económicamente.

Las necesidades de consumo en España se han cifrado prudentemente, en 1943, en 7.500 Th. anuales de metal magnesio, lo cual, si admitimos que un 70 % de la producción se obtenga, como en Estados Unidos, por electrólisis a partir del cloruro magnésico, y éste se beneficia de las carnalitas, que contienen un 8 %, aproximadamente, de magnesio, precisamos una nueva industria que pueda tratar 100.000 Tm. anuales de carnalita, cantidad que no es grande para la industria extractiva, que, a su vez, proporcionará un residuo no disuelto de «mena» potásica de 55.000 Tm. de com-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

posición análoga a una silvinita, que debe servir para obtener 10.000 Tm. de K_2O en forma de cloruro potásico, apto como fertilizante o para transformaciones químico-industriales de estimable valor económico, lo que reduciría el costo a que pudiera resultar el magnesio.

Por lo manifestado, parece evidente lo privilegiada que está nuestra querida patria para ser cuna de una próspera industria del magnesio y sus derivaciones afines, concebida con amplitud de criterio y elevadas miras nacionales, y no olvide, una vez más, que las riquezas naturales de un país sólo representan verdadero valor en tanto que se las utiliza y se le sepa dar el mejor aprovechamiento y empleo posibles.

6.—ENSAYOS A PARTIR DE LAS CARNALITAS

Utilizando este mineral, el procedimiento consistiría en disolver parcialmente la carnalita, previamente molida a un calibre como de granos de trigo o algo mayor con agua fría. Se formaría así una disolución que llevaría el cloruro magnésico disuelto y un residuo sólido de sal potásica rica y algo de cloruro sódico como impureza, que puede servir, lavado y escurrido, para fabricar cloruro potásico.

a) *Obtención del cloruro magnésico.*—Los ensayos se efectuaron a partir de una carnalita de la composición media:

$Mg\ Il_2 = 26{,}72\ \%$
$K\ Il = 22{,}24\ \%$
$Na\ Il = 26{,}70\ \%$

por el orden siguiente:

I) Se molió el mineral a tamaño de 4 a 8 mm.

II) Se puso en maceración con agua fría, en defecto, a temperatura ambiente (15°), durante doce horas, y se ensayó qué proporción de agua sería la más conveniente para que el residuo no disuelto, que viene a tener composición análoga a la de la silvinita, tuviera retenida la menor cantidad posible de cloruro magnésico. Se encontró que era un poco más del 50 % del peso de la carnalita empleada, proporción que coincide con el señalado para la disolución crítica de la carnalita en contacto con el cloruro sódico, por Van't Hoff.

A temperatura de 15° C.

$1.000\ H_2O + 5{,}8\ NaCl + 9{,}4\ KCl + 69{,}9\ MgCl_2$

Prácticamente,

Carnalita puesta en disolución	1.000 gr.
Agua empleada	500 c. c.
Peso específico de la disolución	1,245 Kg/dm³
Volumen de la disolución resultante	750 c. c.

Separado el residuo de la disolución, se tuvo:

Peso de la parte disuelta o líquido ...	940 gr.
Peso de la parte no disuelta o residuo.	560 gr. (en húmedo)

La composición de la disolución:

$MgCl_2 = 249{,}3\ \%$
$NaCl = 47{,}4\ \%$
$KCl = 54{,}3\ \%$
$H_2O = 64{,}9\ \%$
100,00

La fracción de sulfatos y carbonatos es muy pequeña, por lo que no se considera.

y la composición del residuo:

$MgCl_2 = 7{,}90 - 9{,}66\ \%$
$KCl = 24{,}70 - 36\ 30\ \%$
$NaCl = 46{,}02 - 60{,}65\ \%$
$H_2O = 7{,}00 - 12{,}00\ \%$

De estos resultados se dedujo: 1.° Que el volumen de la disolución era un 50 %, aproximadamente, mayor que el del agua empleada. 2.° Que el peso del residuo no disuelto era de 50 %, aproximadamente, del de la carnalita empleada. 3.° Que la ley de este residuo o parte no disuelta era muy alta en K_2O, y que resultaba ser una «mena» excelente de sal potásica.

III) La separación de la disolución se hizo por centrifugación para agotar bien, aunque puede hacerse por decantación. Se dejó reposar la disolución para que se sedimentasen las partículas arrastradas de residuo y separarlas. El líquido era translúcido y viscoso.

IV) La disolución se concentró mediante el calor a fuego directo, hasta evaporar un tercio del volumen del líquido, aproximadamente, dejándolo a densidad de 1,27 y punto de ebullición de 123° C. Retirada del fuego, al enfriarse cristalizan los cloruros de sodio y de potasio, que se precipitan en el seno de la disolución del cloruro magnésico.

V) Enfriada la disolución se decantó para separarla del precipitado blanco de carnalita artificial, cuya composición era:

$MgCl_2 = 9{,}7\ \%$
$KCl = 53{,}2\ \%$ 33,6 K_2O
$NaCl = 36{,}6\ \%$

Este precipitado se añadía después a la carnalita bruta de la operación de disolución siguiente, al objeto de recuperar el $MgCl_2$ que contiene. Su peso representa de un 12 a 15 % del de la carnalita tratada.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El líquido separado debía estar exento de los cloruros sódico y potásico, pero todavía retiene algo de dichas sales.

VI) La disolución anterior de $MgCl_2$ se vuelve a concentrar hasta temperatura de 160°, a la cual la densidad apreciada era de 1,45. A la temperatura de 145° adquirió consistencia pastosa, lo que hizo difícil y poco precisas las lecturas posteriores.

VII) En estas condiciones se procedió a la purificación de la disolución. Para oxidar el hierro se añadió al baño clorato potásico a razón de 80 gr. por m^3 de disolución, y 5 gr. de lechada de cal para precipitar el óxido férrico que hubiera podido formarse.

VIII) A continuación se decantó el líquido para separarlo de los posos. Se le añadió 20 % de agua para facilitar la cristalización, que sobreviene al enfriarse en una masa compacta. A la temperatura de 116°,7 forma cristales de cloruro magnésico hidratado, cuya composición es $MgCl_2 + 6\ H_2O$.

Para recuperar las aguas madres que se recogen a parte de esta cristalización pueden servir el bromo, que contienen en cantidad de 3 a 5 gr. por litro.

Al producirse la cristalización conviene se formen escamas finas, al objeto de aumentar las superficies de los cristales y facilitar la expulsión de H_2O, que ha de tener lugar en la deshidratación posterior. Para obtener laminillas delgadas se derramó la disolución sobre una superficie plana exenta de hierro. Se solidificó rápidamente en una lámina fina, translúcida, frágil.

El análisis de este cloruro magnésico hidratado resultó ser:

$MgCl_2$	= 53,33 %	y en otros ensayos:	49,98 % - 45,31 %
KCl	= 3,90 %		0,203 %
NaCl	= 1.69 %		0,331 %
$CaCl_2$	= 1,248 %		
$CaSO_4$	= 0,906 %		
H_2O	= 38,962 %		
	100,00		

Como se ve, las impurezas son aún de importancia, pero no son un inconveniente grave para la electrólisis. Al producto puro $MgCl_2 + 6\ H_2O$, corresponde el 46,8 % de $MgCl_2$.

b) *Deshidratación del cloruro magnésico.* — Esta operación es muy embarazosa; puede hacerse en dos fases: la primera, mediante calentamiento a 150°, y la segunda, en atmósfera de gas clorhídrico a unos 300°, con lo que se obtiene un $MgCl_2$ de 99 % de pureza.

Por dificultad de instalación no fué posible seguir este procedimiento. En consecuencia, se siguió uno de modo simplificado y expedito, que, sin poder asegurar que daría todo el cloruro magnésico completamente anhidro, nos proporcionó al menos un cloruro casi deshidratado en condiciones de poder someterlo a la electrólisis.

Con este objeto se construyó un recipiente de palastro resistente, en forma de retorta, provisto de una trituladura de aspiración por donde hacer el vacío. Lleno con las escamas de cloruro magnésico hidratado, se conectó con la aspiración de una bomba de vacío, se cerró herméticamente y se colocó sobre un hogar. Se fué calentando por el fondo, poco a poco, a la vez que se hacía el vacío.

La elevación de temperatura se llevó, primero, hasta 160°, lentamente, porque así convenía para evitar la hidrólisis del cloruro, y luego hasta alcanzar la temperatura de 300°, que se mantuvo durante algún tiempo. La depresión se llevó a 700 mm. de col. de Hg.

Terminada la operación de deshidratación y abierto al recipiente, se encontró una masa unida, porosa, muy ligera, blanca, un poco gris. La pérdida de peso fué estimada en un 40 %. Por consiguiente, no hubo deshidratación completa, pero pudo completarse volviendo a fundir este cloruro y adicionándole cloruro amónico. La impureza que pudiera representar el residuo de H_2O sólo ejercía influencia al principio de la electrólisis siguiente.

c) *Electrólisis de cloruro magnésico deshidratado.*— Ha de hacerse estando la sal fundida. Para ello se empleó un crisol de hierro fundido de 20 × 20 cm., que servía de cátodo, introducido plenamente en el hogar de un horno de laboratorio. Como ánodo se empleó una barra de ϕ = 30 mm. de carbón de retorta.

Una vez el fuego encendido en el hogar y puesto el crisol y todo el montaje eléctrico a punto, se llenó el crisol con el cloruro deshidratado dicho, que se iba fundiendo, hasta llenar los 3/4 de altura del crisol. Conviene evitar el contacto de la superficie del baño con aire, que formaría óxido de magnesio, no apto para la electrólisis. A continuación se introdujo el ánodo de carbón y se hizo pasar la corriente. Se redujo el calentamiento, pues el paso de la corriente origina

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

calor, por lo que la temperatura sube más de lo necesario, y, finalmente, hay que suprimir la calefacción. En marcha normal basta para tener fundido el electrólito el calor de las electrólisis. Ésta se desarrolla sin incidentes, salvo las elevaciones de tensión y de temperatura, que han de vigilarse. El fuerte desprendimiento de gas cloro que se producía lo dejamos escapar a la atmósfera. La marcha era suave, si bien se observaban en la superficie del baño explosiones de las esferitas de magnesio que ascendían y se oxidaban al aire con vivo destello de luz blanca. A medida que se iba empobreciendo el electrólito en cloruro magnésico se añadía más de éste para mantener constante la riqueza del mismo. La fusión y aglomeración de las esferitas de magnesio se favorece añadiendo pequeña cantidad de fluoruro cálcico. También, la adición de 2 % de cloruro básico aumenta la densidad del electrólito y permite que las esferas de magnesio liberado suban a la superficie.

Por ser el punto de fusión del $MgCl_2$ de 710° se mantuvo la temperatura del baño durante la electrólisis alrededor de 750°, cuidando de no llegar a los 800°, pues superada esta temperatura, se corre el riesgo de que el magnesio liberado entre en reacción con el cloro, en las inmediaciones del ánodo, y se regenere el $MgCl_2$.

La tensión de la corriente fué de 10 a 12 voltios, y se reguló sin dificultad.

La intensidad se hizo variar más, entre 100 y 200 amperios, para mantener la tensión dicha, al irse modificando la resistencia del electrólito. El rendimiento de la corriente disminuye al aumentar la temperatura.

La duración de la electrólisis puede calcularse previamente, conociendo los datos esenciales de la misma: cantidad de cloruro que se ha de tratar e intensidad de la corriente. La terminación del proceso se conoce por un amortiguamiento prolongado de la actividad del baño, que al empobrecerse por debajo del 10 % $MgCl_2$, ya no manifiesta ninguna acción.

Terminada la electrólisis se agitaba el baño para reunir las esferitas dispersas de magnesio liberado; se retiró el ánodo y, antes de dar tiempo a que se enfriase la masa, se vertía sobre una placa de hierro, donde se solificaba en una escoria parda. El magnesio se recogía cerca del fondo, en la región del centro, frente adonde estuvo el ánodo; que era donde se depositaba en mayor cantidad.

Recogidas las esferitas de bello aspecto argentino, se lavaban con agua y con alcohol y se desecaban.

En otros ensayos se intentó hacer la electrólisis con diafragma que rodeaba el ánodo y con fondo agujereado, el cual se preconiza para evitar la penetración del metal en la región anódica. Se admite el hecho de que, por ser muy grande la densidad de corriente en el área de los orificios, también la temperatura en esta zona es muy elevada, y el magnesio que llega a ella se funde y cae al fondo, que debe estar frío, y se recupera mejor. Sin embargo, la interposición del diafragma con fondo agujereado aumenta el consumo de corriente.

Como datos energéticos pueden citarse los resultados obtenidos por DROSSBACH (Z. Elektrochen. 43-1937, 891-907), quien realizó profundos experimentos sobre la electrólisis del cloruro magnésico fundido, empleando intensidad de corriente constante de laboratorio e igual a 0,5 amperios, y temperatura de 740°, y obtuvo:

Tensión entre bornas	5,238 voltios.
Tensión de polarización	2,544 voltios.
% de corriente de transporte catódico y anódico	63.2 %
Consumo de energía	18,2 KWH/Kg Mg.

Variando la concentración de $MgCl_2$ en el electrólito, observó que la tensión de polarización aumentaba al disminuir la proporción del cloruro.

6.1. *Esquema.*—Resumiendo la marcha de los ensayos, damos a continuación esquemáticamente la pauta de las operaciones que habían de efectuarse en la industria para obtener metal magnesio a partir de las carnalitas.

Carnalita bruta.
↓
maceración con agua fría.
↓
decantar y centrifugar.
↓ → residuo KCl, NaCl y sulfatos para su beneficio como sales potásicas.
disolución concentrada $MgCl_2$ 330-340 gr./litro, D = 1,27 a 15° C
↓
concentrar, evaporando 1/3 del agua.
↓
enfriar; se cristaliza la «carnalita artificial» que se añade a la carnalita bruta de la siguiente maceración.
↓

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

decantación de la lejía.

↓

concentrar hasta D = 1,43 a 160° C.

↓

Purificación.

↓

añadir 80 gr/m³ de $KClO_3$ para oxidar el Fe.

↓

añadir 800 a 1.000 gr. CaO/m^3 para precipitar el Fe_2O_3.

↓

se deja decantar.

↓ los barros depositados se tiran.

↓

se separa el líquido claro que contiene:

1 %	KCl, NaCl
0,2	$CaSO_4$
47-48	$MgCl_2$
50	H_2O
100	

↓

se diluye con 20 % de agua.

↓

se deja cristalizar.

↓

se centrífuga.

↓

las aguas madres se destinan para extracción del Br.

↓

deshidratación.

↓

desecación en hornos de pisos, calefacción por gas.

$MgCl_2 . 6 H_2O \longrightarrow MgCl_2 . 2 H_2O$

↓

calcinación en hornos especiales.

$MgCl_2 . 2H_2O \longrightarrow MgCl_2$

↓

$MgCl_2$ anhidro.

↓

electrólisis ígnea.

↓ Mg.

↓

$Cl_2 \longrightarrow KClO_3$

↓

HCl., etc.

6.2. *Final.*—Esto es lo que hizo el firmante en el año 1943, con los escasos medios de que se dispone en el laboratorio de una fábrica. Como han pasado siete años desde entonces, y que yo sepa, en el orden de las preocupaciones españolas nada se ha añadido sobre el tema del magnesio, ni de sus aleaciones, ni de sus compuestos químicos, ni de sus intereses materiales constructivos (salvo honrosas excepciones aisladas que pueda haber de investigaciones y proyectos no hechos públicos), para cuya efectividad hemos indicado se dispone de los elementos naturales necesarios, lo contrario que para el aluminio, que nos mueve a decir que, además del mercurio, la plata, el plomo, el wolframio y otros, el magnesio es el metal moderno español por antonomasia.

Las actividades cambiantes del ejercicio de nuestra profesión hanme apartado de este sugestivo asunto del magnesio y de los metales ligeros por otros bien distintos. Confío en que el ingenio español perservará tenaz e inquebrantable, en el logro de realidades que nos doten de la industria floreciente que precisamos para ser fuertes, dignísimamente considerados en todos los aspectos de las manifestaciones industriales de una nación no rezagada, poeedora de una técnica joven y de paz, de brillantes proezas y de porvenir en el campo de las actividades de la ingeniería patria.

Doy, desde aquí, públicamente, las gracias a las personas y compañeros nuestros, que no regatearon los medios disponibles, aunque escasos, para hacer estos ensayos de exploración, los cuales, en aquel momento, no tenían objeto económico alguno y sí sólo de investigación, de prueba y de descubrimiento para nuestros ojos y nuestras posibilidades de españoles.

Madrid, 30 de abril de 1950.

Después de lo expuesto, se levanta la sesión a las ocho de la noche, para continuarla al día siguiente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

ACTA DE LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 30 DE MAYO DE 1950
(Continuación.)

Se continúa la sesión bajo la Presidencia del Excmo. Sr. D. Pedro de Novo y Fernández Chicarro, Ingeniero de Minas, y actúa de Secretario D. Antonio Almela Samper, Ingeniero de Minas.

Se abre la sesión a las once de la mañana. Se concede la palabra al Sr. Meseguer Pardo, quien lee el siguiente trabajo:

N.º 67. - Rescate del agua subterránea que se pierde submarinamente en las costas calizas de Levante

Autor: D. JOSÉ MESEGUER PARDO
Ingeniero de Minas

Habida cuenta de la escasez de precipitaciones atmosféricas en el territorio español, pocos problemas revisten la urgencia e interés que el aprovechamiento de nuestras aguas. Innecesario parece subrayar la insuficiencia que agobia al país y su pernicioso influjo sobre la economía general, sensible hasta el punto de que, entre todos los factores geográficos de las diferentes regiones, acaso no exista otro que actúe tan decididamente sobre la población como la lluvia.

Allí donde aquélla falta o escasea, disminuyen e incluso llegan a anularse las corrientes superficiales —el elemento más vivo de toda la fisiografía, según frase feliz de Martonne— y la vegetación, privada de los riegos, casi desaparece en un ambiente verdaderamente desértico.

La aridez, restringe la habitación dentro de límites estrechos, y la atormentada población, con motivo harto justificado, apenas advierte otra necesidad que la de procurarse el agua indispensable y se ve obligada a supeditar a tal factor las demás fuerzas productoras.

Sufrimos en España los efectos perjudiciales de un clima anormal caracterizado por la escasez de lluvias, y esta dolorosa realidad, impone la utilización de los recursos acuíferos disponibles.

La exigüidad de precipitaciones atmosféricas, se imagina privativa de estos últimos tiempos, cuando lo cierto es que han existido, en el pasado, períodos mucho más secos que el actual. Diodoro de Sicilia, el famoso historiador de la época de César y de Augusto, hace mención de una sequía en su tiempo, que dejó despoblada a nuestra patria; siglos después, en el año 846, se inició otra, de treinta y un años de duración, a consecuencia de la cual perecieron los ganados, quedaron en seco las fuentes y desaparecieron la mayor parte de los árboles frutales de las grandes regiones españolas.

En el año 1000, nueva y extendida sequía asoló a toda Europa, y transcurrido poco más de un si-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

glo, en 1122, la reiteración del fenómeno dejó al Rin casi completamente seco. Por el contrario, en 1168 se produjeron grandes inundaciones, pero cuatro años después, hubo nueva y extraordinaria sequía, con hambre general en toda España.

Tras otra centuria casi, en 1257, volvió a abrumar a la Nación una sequía muy grave, seguida de terribles inundaciones, y al advenir el año 1304, la falta de precipitaciones atmosféricas en diversas regiones europeas, llegó a dejar en seco al Sena, al Loira y al Rin.

Durante el interregno 1358-1450, existieron casi cien años de lluvias torrenciales en toda la Península y, particularmente, en 1404 las formidables precipitaciones ocasionaron espantosa inundación en Palma de Mallorca, que produjo la muerte de más de cuatro mil personas.

No precisa continuar los ejemplos, ya que son suficientes los expuestos para hacer comprender la irregularidad del régimen pluviométrico en nuestro país, y algunos de sus catastróficos efectos.

En bastantes de nuestras regiones llueve en la actualidad tan parcamente que la altura de lluvia anual, correspondiente a toda la Nación, no excede demasiado el valor de 400 milímetros. Si se recuerda que España posee una superficie de 490.000 kilómetros cuadrados, es admisible valuar en 200 kilómetros cúbicos el agua que recibe cada año de las precipitaciones atmosféricas, cifra, como se ve, bastante reducida.

Otro factor desfavorable a nuestra economía hidráulica es la evaporación, la cual, no sólo en España, sino en las naciones frescas y lluviosas del centro de Europa, tiene valor considerable. En algunas de nuestras regiones, como la de Levante, los experimentos realizados por el Instituto Geológico y Minero de España demuestran que se evapora el 80 y aún el 85 por 100 del agua llovida, cifra elevadísima y desconsoladora que es forzoso acatar. Para la evaporación en nuestro territorio, es necesario adoptar un coeficiente de 0,5, por lo menos, es decir, superior al valor de 0,4 en que se cifra en otras naciones.

Más perniciosa, sin embargo, que la evaporación, es la irregularidad de las lluvias. En los años de grandes precipitaciones, nuestros ríos vierten en el mar 90 kilómetros cúbicos de agua, mientras que en los muy secos el caudal es solamente de 30 kilómetros cúbicos. Así se concibe la magnitud de las grandes avenidas que se pierden, desdichadamente, para la economía nacional.

La fuerza de esta última descansa con preferencia en la producción agrícola, esto es, en la mejora y multiplicación de los productos de la tierra. Si en el pasado nuestras necesidades no eran tan apremiantes, el aumento de población y las condiciones en que actualmente se desenvuelve la vida del país impelen a los máximos esfuerzos en favor de la agricultura, que tanto necesita de los riegos.

Los aprovechamientos hidráulicos mediante embalses, pueden atenuar las desfavorables condiciones de nuestro clima con el rescate de buena parte de la riqueza líquida que se pierde, pero no es nuestro objeto abordar esta solución, encomendada tan eficazmente a los ilustres compañeros que componen el Cuerpo de Caminos, Canales y Puertos. Hemos de considerar los alumbramientos de aguas subterráneas, en los que no se ha insistido bastante por olvidar, quizá, que en los campos áridos, bajo la mustia vegetación agostada por la sequía, existen veneros que representan extraordinaria riqueza inexplotada.

Es necesario difundir la idea de que, mediante el aprovechamiento de las aguas del subsuelo, es posible cubrir con exceso las múltiples necesidades nacionales. Un hecho incuestionable, es que los meteoros acuosos depositan en nuestras cuencas mayor cantidad de agua que la que circula por los ríos respectivos y, consecuentemente, la diferencia entre ambos volúmenes, luego de descontada la evaporación, es la que alimenta a los mantos subterráneos.

En los problemas hidrológicos, acaso por carencia de investigaciones, se prescinde de las condensaciones directas del vapor de agua de la atmósfera y se considera únicamente el agua de las lluvias como origen de la del subsuelo. Sin alcanzar los extremismos de la escuela de O. Volger que imagina a las aguas subterráneas procedentes exclusivamente de condensaciones de la indicada naturaleza, puede afirmarse que estas últimas contribuyen en cierta medida a formar los caudales del subsuelo, sobre todo, en el caso de terrenos sueltos y calizos, en los

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que el aire puede circular con facilidad. Sin embargo, el factor de mayor importancia son las precipitaciones de la atmósfera. En opinión del especializado ingeniero D. Fernando de Benito, las aguas retenidas en el suelo español son el 80 por 100 de las de lluvia, o sea que ascienden a 160 kilómetros cúbicos, de los cuales se evaporan 100 y se infiltran los 60 restantes.

Las aguas infiltradas, obedientes a las leyes de la gravedad, descienden en sentido vertical por su propio peso, aunque no de manera indefinida, hasta perderse en insondables simas u oquedades, como supone la imaginación del vulgo; lo impiden, en primer término, la compacidad de las rocas, creciente con la profundidad, y en segundo, la temperatura que se eleva, también, como es sabido, en relación con el gradiente geotérmico.

De todo ello, se infiere un límite para el descenso del agua, cuyo valor se discute bastante a causa del exiguo número de datos positivos con que hasta el presente contamos. En la actualidad, se sitúa más allá de los 3.000 metros de hondura, en consideración a que en los sondeos petrolíferas más recientes que pasan de los 5.000 metros, se han hallado completamente secas incluso las rocas disgregadas que deberían estar empapadas, de existir agua a las aludidas profundidades.

El límite a que nos referimos, se encuentra, naturalmente, por debajo de los mares costeros, y ello motiva un hecho interesante: que en cierto espesor vertical, limitado superiormente por el nivel del mar, y en la parte inferior por el más profundo que alcanza el agua subterránea, debe existir un volumen acuífero, invariable y perfectamente independiente de la masa líquida que empapa las tierras emergidas.

Dicha masa superior, a causa de la acción de la gravedad, se halla sometida a lentísimo aunque incesante movimiento que la lleva desde los lugares de infiltración a los puntos más bajos del continente, es decir, hasta la costa, a la altura de la superficie del mar, que constituye el *nivel de base.*

La superficie de la masa líquida superior ha recibido, del docto Ingeniero D. Pedro de Novo, el nombre de *nivel hidráulico subterráneo,* en atención a que el desplazamiento del agua hacia el nivel de base, hace demasiado absoluta la denominación de *nivel hidrostático,* generalmente empleada. Esta superficie aunque continua, no deja de ofrecer irregularidades dependientes del relieve continental y de la posición relativa de los estratos permeables e impermeables, pues, al paso que circula el agua a través de los primeros, se ve obligada a detenerse cuando llega a los últimos. Sigue, por consiguiente bajo el terreno, las ondulaciones exteriores de éste aunque dulcificándolas, de tal manera, que la separación entre ambas superficies, aumenta por debajo de los macizos montañosos, disminuye en los valles profundos y va decreciendo al aproximarse al litoral, hasta anularse junto al mar.

La superficie de la masa líquida móvil, está, pues, inclinada desde los puntos más elevados de la cuenca hidrográfica hasta el nivel marino, y, tanto más, cuanto mayor sea la altitud y menor la distancia al mar de los sectores que se consideren.

El movimiento lateral del agua desde el continente al océano, determina, como puede imaginarse, *manantiales submarinos,* bien perceptibles cuando se hallan en la costa, mucho menos, si la surgencia se verifica en plena mar, a cierta distancia de aquélla. Debe, por lo tanto, considerarse, que sólo será posible reconocer los manantiales importantes, puesto que, si el caudal no es grande, el agua se mezcla con la marina y pasa inadvertida. En las zonas submarinas de profundidad superior a 50 metros, sólo se comprueba la existencia de manantiales cuando el caudal es de muchos metros cúbicos por segundo. Por el contrario, en las orillas se manifiestan sin dificultad aun las surgencias francamente modestas.

Los manantiales submarinos se muestran en innúmeros lugares del Globo. Los citan Spencer, Hull y Bennet en las costas del mar del Norte, de Inglaterra y Francia, y en este último país, son clásicos el de Port-Miou a 300 metros de la costa entre Casis y Marsella, y el de Cannes; en Italia, aparecen en San Remo y en el golfo de Spezia (Pella de Cadinare); en el Adriático, abundan las surgencias en el litoral de Dalmacia y se tocan materialmente en el de Istria donde sobresalen las del Quarnero, bahía de Abbazia, Parenzo, Revigno y Aurisina, la última de las cuales proporciona agua potable a la ciudad de Trieste.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Están también muy difundidos estos manantiales en las costas calizas del Mediterráneo oriental, cerca de Argos (Grecia), Licia, Siria, etc., algunos de ellos, conocidos en la antigüedad, como atestiguan Plinio, Lucrecio y Estrabón.

Se han indicado en las costas de Arabia correspondientes al Golfo Pérsico, y Carreri apunta que los habitantes de la isla de Bahrein, en el mismo, se ven obligados a procurarse el agua potable en el fondo del mar, porque la de las costas es salada. Asimismo, Bonden cita la existencia del agua dulce en pleno océano Índico.

Se presentan, igualmente, surgencias de la misma naturaleza en las costas de Georgia, de La Florida y del Golfo de México, sobre todo en la península del Yucatán, donde los naturales las denominan *ríos*. Por fin, se han reconocido en el litoral de Chile.

En nuestra patria no faltan estas surgencias, especialmente en la costa mediterránea desde Cataluña a Alicante, y allí se les da el nombre de *aigua dolça* o agua dulce. En los lugares de aparición, se forma una zona dulce o salobre, y hasta existen casos en los que el agua brota a borbotones en el fondo marino, removiendo las arenas. El Ingeniero don Daniel de Cortázar, señaló que, frente a Castellón de la Plana, a varios kilómetros mar adentro, acudían los pescadores a surtirse de agua potable, y el año 1929, en el propio puerto del Grao castellonense, se descubrió un manadero de la misma índole.

De los 60 kilómetros cúbicos de agua que se infiltran en el subsuelo español, solamente 40 vuelven a la superficie, y de ellos 30 van a completar el caudal de los ríos, de modo que unos 20 kilómetros cúbicos deben desaparecer submarinamente a través de las rocas permeables continentales que se prolongan por el fondo de los mares.

Las masas rocosas de la Nación ocupan 490.000 kilómetros cuadrados al nivel del Mediterráneo, y 80.000 kilómetros a 1.000 metros de altura, de suerte que constituyen un macizo continental de 650 metros de altitud media, el cual recibe la infiltración de las aguas meteóricas. La distancia entre la superficie del suelo y el nivel hidráulico subterráneo, es decir, el espesor de terreno seco llamado *zona de aereación* porque los huecos de las rocas integrantes están llenos de aire, no suele exceder de 40 metros; pero, admitiendo un máximo de 50, queda todavía una altura media de 600 metros para el macizo saturado de agua, y así, el volumen de terreno empapado por encima del nivel del mar, será:

$$490.000 \text{ km.}^2 \times 0{,}6 \text{ km.} = 294.000 \text{ km.}^3$$

y como el coeficiente mínimo de los huecos se cifra en 0,03 el agua subterránea, teóricamente aprovechable, contenida en nuestro subsuelo, será:

$$294.000 \times 0{,}03 = 8.820 \text{ km.}^3$$

es decir, que equivale al caudal que todos los ríos españoles llevan al mar en un período de ciento cuarenta y siete años.

Es evidente que buena parte de dicha masa líquida resultan tan inerte como la que satura las rocas situadas a profundidad inferior al nivel marino, pues sólo las aguas de los lugares que poseen cota elevada en la zona de saturación, estarán sujetas a movimiento, por contar con la carga necesaria para vencer las resistencias que el terreno opone a la circulación.

Con todo, cabe utilizar una fracción importante del extraordinario volumen, especialmente, en el litoral levantino, una de las zonas españolas en donde menos llueve y está más necesitada de riego, si se aspira a que produzca los rendimientos de que son capaces sus magníficos campos.

La escasez de aguas superficiales en dicha región se debe a la disimetría fluvial de la Península, que ocasiona la posición excéntrica de la Cordillera Ibérica, la cual, divide, como es sabido, a nuestro suelo en dos grandes áreas desiguales: la comprendida entre aquella arista orográfica y los Pirineos, que vierte en el Mediterráneo 18.600 millones de metros cúbicos anuales de agua, y la situada a Poniente de la Ibérica, que lleva todos los años al Atlántico 26.640 millones de metros cúbicos de aguas españolas, es decir, sin contar las que el Tajo y el Guadiana recogen en la nación portuguesa.

Aparte de las dos grandes zonas referidas, quedan la correspondiente al litoral cantábrico; la que desde el Estrecho de Gibraltar se extiende hasta el cabo San Antonio en la provincia de Alicante; y, finalmente, la situada entre el último y el delta o golas

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

del Ebro, que se denomina *Levante*, por antonomasia.

La faja costera comprendida entre el Serpis y el Norte de Castellón de la Plana, abarca una serie de pequeñas cuencas que pertenecen a los siguientes modestos cursos acuíferos:

Serpis...	105	millones de m.³
Júcar	1.915	—
Turia	465	—
Palancia	50	—
Mijares	310	—
Cenia	31	—
Total	2.876	millones de m.³

Volumen fluvial que representa tan sólo el 4,86 por 100 del total de España, el cual se distribuye de la siguiente manera:

Vertiente cantábrica.....	10.000	millones de m³
— atlántica.....	26.645	—
— mediterránea.....	22.530	—
Total.....	59.175	millones de m.³

De todos los citados ríos, el único caudaloso, con bastante diferencia respecto a los demás, es el Júcar, debido a que, en rigor, no procede, como los otros, del segmento costero, sino que tiene origen, al igual que el Tajo, en los derrames occidentales del Sistema Ibérico.

Se comprueba, pues, la penuria de aguas superficiales en la zona que consideramos, agravada todavía por la fortísima evaporación durante la primavera y el estío, tan considerable, que se estima como el mayor inconveniente para el aprovechamiento del agua.

Cierta parte de la costa levantina es abrupta, por hallarse compuesta de montañas que enlazan con las sierras de Cuenca y de Teruel, como, asimismo, con el borde sudoriental de la submeseta inferior de Castilla. El agua meteórica que reciben los terrenos jurásicos y cretáceos, calizos y, por consiguiente, permeables en su mayor parte, que forman aquellos relieves, se infiltra hasta llegar al Trías, en general, impermeable, o bien, a los estratos paleozoicos que son igualmente refractarios al paso del agua. En el trayecto de las sierras a la costa, los mantos subterráneos regularizan los cursos fluviales, alimentan a las fuentes y, en último término, una parte de los mismos se pierde submarinamente, ya de modo directo, cuando el litoral es acantilado, o después de embalsarse en las planas costeras, en el caso en que están formadas por elementos detríticos de naturaleza diluvial.

La detención de las aguas del subsuelo antes de su llegada al mar, es problema difícil en los cantiles de los cabos, mas resulta, en cambio, practicable, en las planicies donde el aludido embalse retrasa la pérdida submarina. Desde este punto de vista son dignas de atención: la llanura comprendida entre las desembocaduras de los ríos Serpis y Júcar, en la provincia de Valencia, y la de Castellón de la Plana, al Norte de la capital, que corresponde a la cuenca del Mijares.

A la primera acuden las aguas de infiltración de las sierra Grosa, Mondúver, Mariola y Agullent-Benicadell, y a la segunda todas las del Maestrazgo.

En la costa de la huerta valenciana, la multiplicación del número de pozos dotados de instalaciones eléctricas para la elevación de las aguas, ha hecho descender el nivel subterráneo por debajo de el del mar, así que no puede existir duda de que en tal lugar se evita ya la pérdida submarina. Esta circunstancia señala bien la conveniencia de perforar pozos en el contacto de las calizas mesozoicas con los depósitos pleistocenos de las llanuras costeras antes citadas. Si tales pozos se situasen de manera que pudieran influirse mutuamente los paraboloides de absorción, llegaría a constituirse una verdadera barrera suficiente a cortar las pérdidas de agua, y, a la vez que el rescate de la que desaparece en el Mediterráneo, se lograría, merced al descenso del nivel hidráulico producido por el desagüe, la importantísima ventaja del saneamiento de terrenos pantanosos que quedarían habilitados para el cultivo.

Se trata, en suma, de reproducir, con ciertas variantes, la magnífica obra que la munificencia del famoso cardenal Luis de Belluga realizó, hace muchos años, en la zona de Guardamar del Segura, cerca de la desembocadura de este río, en la provincia de Alicante. Todo el terreno antes yermo, pantanoso y desprovisto de vegetación, se convirtió en espléndido vergel donde los cultivos alcanzan hoy el máximo perfeccionamiento y donde se obtienen cifras de producción que, a igualdad de terreno, resultan superiores a las del resto de Europa.

Con arreglo a las ideas apuntadas, en la plana

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

comprendida entre las desembocaduras del Serpis y el Júcar, podrían perforarse 40 pozos ordinarios, de 20 a 30 metros de profundidad, que se situarían espaciados de 500 en 500 metros a lo largo del litoral. Como el costo de cada uno se presupone de 30.000 pesetas y el de la instalación para elevar el agua a 10 metros sobre el brocal, de 50.000 pesetas, el importe total de cada pozo sería de 80.000 pesetas, y el del conjunto:

40 (pozos) × 80.000 (pesetas) = 3.200.000 pesetas.

De acuerdo con las enseñanzas que rindiesen las obras, podrían acometerse, más tarde, otra ssemejantes en las zonas de la Albufera de Valencia, el Turia, Sagunto y Castellón de la Plana, hasta llegar a 400 pozos, que se repartirían en 100 kilómetros de costa.

Con independencia de los mantos libres superficiales, que se encuentran, como decimos, a unos 30 metros de hondura, y que permiten la elevación del agua con motor, existen, sin duda, otros niveles más profundos *cautivos* y, por lo tanto, a presión, de aguas que corresponden a paquetes de rocas permeables intercalados en otros que lo son menos, y todos ellos, pertenecientes a los terrenos modernos de las tan referidas llanuras costeras. Al alcanzar con la sonda los niveles de referencia, ascendería el agua a presión e, incluso, pudiera surgir espontáneamente.

Cabe realizar tales trabajos en las desembocaduras del Serpis, Júcar, Turia, Palancia y Mijares, y deberían escogerse parajes adecuados con el fin de perforar cada año 60 sondeos de 200 metros de profundidad, por término medio. Calculando en 500 pesetas el precio del metro lineal, el costo de cada taladro sería de 100.000 pesetas, y el de los 60 con que habría de comenzarse:

60 (sondeos) × 100.000 (pesetas) = 6.000.000 de pesetas.

El desembolso que representan los trabajos que propugnamos, que asciende, en definitiva, a 9.200.000 pesetas, es realmente insignificante, y más si se consideran los extraordinarios beneficios que reportarían. Puede servir de norma que el costo de los alumbramientos realizados por el Estado en la región de Levante, bajo la dirección del Instituto Geológico y Minero de España, ha sido hasta ahora de unos cinco millones de pesetas, y se calcula que el agua lograda representa un ingreso superior a 2 millones, equivalente al 45 por 100 de interés del capital. Ingreso independiente, desde luego, de las ventajas que representan la intensificación de los cultivos, adquisición de útiles de labranza, mejoramiento de las condiciones de vida y bienestar de la población.

No existe, pues, a juicio nuestro, mejor empleo de capital que el que lo destina a los alumbramientos subterráneos, ya que en plazo breve, puede quedar bien resarcido con el incremento de la riqueza que se crea.

Con extraodinaria frecuencia, los alumbramientos de aguas en España, han sido el fruto de la iniciativa particular. Parece llegada la hora de que se aborde el problema con toda la amplitud que demandan las imperiosas necesidades nacionales, pero ello sólo puede realizarlo con eficacia la actividad estatal. Dado el carácter en cierta manera aleatorio, que presentan las investigaciones de esta naturaleza, es lógico que los modestos propietarios hayan de vacilar antes de aventurar las sumas necesarias en empresas que estiman problemáticas. Para el Estado el caso es muy distinto, porque, como realiza múltiples trabajos, con aquéllos que rindan buenos resultados puede quedar resarcido de los negativos.

Las consignaciones para los alumbramientos de aguas subterráneas, han sido, hasta ahora, muy mezquinas. Hace poco menos de un siglo, en el año 1855, el Secretario de Estado y Gobernación expresaba a la Reina gobernadora que no se habían aprovechado como convenía las aguas de nuestro subsuelo, a pesar de su gran utilidad y de que el alumbramiento y beneficio eran de menor costo que el del aprovechamiento de las aguas superficiales. Desdichadamente, no obstante el tiempo transcurrido, se ha realizado tan poco, que las observaciones del Ministro conservan su actualidad.

Si la iniciativa particular, pequeña y dispersa, ha logrado resolver problemas hidrológicos que representen en conjunto la utilización de importantes caudales, mucho más podría conseguir una acción del Estado, eficaz y positiva, que, coordinando en una visión de conjunto, los diferentes aspectos que ofre-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ce, permitiese resolver como es debido la cuestión de las aguas subterráneas.

Percatado de su trascendencia, el Gobierno ha tenido la feliz iniciativa de encomendar la formación de un Plan Nacional de Alumbramientos; esperemos su realización con la confianza de que consiga convertir los yermos en sectores de vegetación exuberante, sanear comarcas insalubres, mitigar la sed de muchos pueblos y poner fin al desfallecimiento de la industria.

CONCLUSIONES

1.ª Existe un gran caudal de agua que se pierde subterráneamente en las costas calizas del Levante español.

2.ª Una parte importante de dicho caudal puede rescatarse en las llanuras litorales, si se ejecutan las obras necesarias.

3.ª Las aguas de los mantos libres, próximos a la superficie, son susceptibles de aprovecharse mediante pozos ordinarios de 20 a 30 metros de profundidad, provistos de adecuadas instalaciones para la elevación mecánica.

4.ª Además del aprovechamiento de las aguas, estos pozos sanearían los terrenos pantanosos estériles y los harían aptos para el cultivo.

5.ª Los mantos cautivos a presión, más hondos, pueden alumbrarse con sondeos de 200 metros de profundidad media.

6.ª Deberían comenzarse los trabajos con la perforación de 40 pozos ordinarios y 60 sondeos, convenientemente distribuídos en las planas costeras de Valencia y de Castellón.

7.ª Las enseñanzas derivadas de estas obras, señalarían las que habrían de acometerse ulteriormente, con los mismos fines.

Madrid, 1950.

Interviene el Sr. Abollado, quien hace ver que los trabajos realizados desde Guardamar hasta Orihuela por la Jefatura de Sondeos han dado escaso resultado en cantidad y calidad.

El Sr. Murcia dice que, como extensión a la cuenca del Segura de las afirmaciones hechas por el Sr. Meseguer, ofrece el caso concreto de las alumbramientos que lleva a cabo en Callosa de Segura el Instituto Nacional de Colonización, precisamente en la zona de contacto de las calizas mesozoicas del "Muschelkalk", que forman la Sierra de Callosa, con los aluviones cuaternarios del valle del Segura. El caudal alumbrado excede ya de los mil litros continuos por segundo, y respecto de calidad, dice que, aunque no dispone aquí de datos, sí puede asegurar es por completo apta para el riego de los cultivos típicos de la comarca y que su porcentaje de ión cloro es del orden de 0,4 grs. por litro.

La existencia de aguas abundantes entre 10 y 30 metros de profundidad está también comprobada, al menos, a partir de Orihuela, a lo largo del contacto septentrional del cuaternario con las formaciones triásicas, aunque, en general, sólo son utilizables las del "Muschelkal" porque el "Keuper" da origen a salinizaciones en las aguas, por abundar allí en yesos y sales.

Los sondeos practicados por el Sr. Abollado, han sido hechos en el centro del valle, donde las formaciones cuartenarias y cenozoicas alcanzan considerable potencia, y es de suponer que por este motivo no ha alcanzado el contacto del Mesozoico.

A continuación el Sr. del Águila expone sobre el trabajo de referencia lo siguiente:

1.ª *La altura media de lluvia en España, que, según el Sr. Meseguer es de*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

400 mm. al año, en realidad, y según los últimos y escrupulosos estudios realizados por el ilustre Ingeniero de Caminos, D. Pedro M. González Quijano, es de 600 milímetros anuales.

2.ª *Respecto al ingreso por las aguas obtenidas en los alumbramientos realizados por el Instituto Geológico y Minero de España en Levante que se cifra por el Sr. Meseguer como representativo del 45 % del interés del capital, manifiesta el señor del Aguila es exageradísimo, pues aquel ingreso comprende todos los múltiples gastos y beneficios de cultivo, y, por tanto, el beneficio imputable al agua misma es una reducida fracción, con cuyo criterio el propio Sr. Meseguer se manifiesta conforme durante la discusión.*

Después el Sr. Almela lee el trabajo siguiente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.º 52. - Influencia de los rasgos geológicos de primer orden en los problemas de hidrología subterránea

Autor: D. ANTONIO ALMELA SAMPER y D. JOSÉ M.ª RÍOS
Ingenieros de Minas

En este trabajo, y definidas en sus líneas más generales, vamos a exponer algunas consideraciones, ejemplarizadas en casos reales, en que se pone de manifiesto la influencia de los grandes rasgos estratigráficos y, sobre todo, tectónicos en la formación y orientación de importantes mantos o depósitos de aguas subterráneas de tipo regional, es decir, de alcance muy superior al problema local que con más frecuencia se presenta en las investigaciones hidrológicas.

Para aclarar estos conceptos, añadiremos que los problemas de alumbramiento de aguas, de carácter local, bien sea para abastecimiento de pequeñas poblaciones o para regadíos poco extensos, requieren, naturalmente, una índole de estudio geológico muy localizado y de detalle, del que se pueda deducir el emplazamiento de tal sondeo, pozo o galería, que resuelva o aminore la apurada situación de determinado pueblo.

Es, pues, preciso ir a la busca de estas grandes cuencas, cuya disposición está regida por grandes accidentes tectónicos, determinantes de los amplios sinclinales qoe pueden servir de receptáculo para aguas de infiltración de zonas extensas, y, al mismo tiempo, prever la posible existencia de niveles geológicos profundos, con permeabilidad suficiente para albergar estos importantes mantos acuíferos.

En una palabra, se trata de un tipo de exploración geológica, análogo a los que ocupan desde hace muchos años a un grupo nutrido de geólogos, en busca de petróleo, pero, a la inversa, porque allí se intenta localizar niveles permeables en anticlinales, y aquí, en grandes cubetas o depresiones; allí, se buscan rocas madres petrolígenas; aquí, niveles porosos que permitan la infiltración superficial.

De la misma manera que en la investigación de petróleo los problemas que se plantean puede decirse que son de geología pura, en su más elevado complejo sentido, igualmente lo es el alumbramiento de aguas subterráneas en grandes cuencas.

Es, pues, necesario el estudio geológico de extensas zonas del ámbito español que trate de desvelar la estratigrafía de los distintos terrenos ocultos y los rasgos tectónicos generales que indiquen la conve-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

niencia de emplazar los necesarios sondeos, que, en definitiva, son los encargados de resolver o aclarar el problema.

Pasemos ahora a exponer algún ejemplo de los que nos ha hecho ver nuestra ya no breve experiencia, adquirida, previamente y en gran parte, en la investigación de petróleo.

DEPRESIÓN SUBPIRENAICA

Pensemos cuáles son la más amplias áreas sinclinales españolas. Nos salta a la vista inmediatamente la del Ebro, pero observemos que intervienen dos conceptos distintos para definir la cuenca del Ebro: el geográfico y el geológico. Este último resulta mucho más restringido, porque la serie de cadenas montañosas que desde Alaiz se extienden por Leyre, Navascués, Santo Domingo, Loarre, Guara, Estado y Estadilla, hasta los Montsechs, nos separan a manera de umbral una amplia depresión sinclinal del Ebro propiamente dicha, y otra más estrecha e irregular, dispuesta al Norte de dichas cadenas y limitada por el Pirineo.

La primera, la del Ebro propiamente dicha, es muy regular y uniforme, pero debido a que su alimentación pluvial es mucho más reducida, y a otras razones que expondremos más tarde, su interés parece, en primera consideración, más pequeño.

La segunda, situada al Norte de las mencionadas sierras, es mucho más irregular, y, aunque corresponde, en conjunto, a un concepto sinclinal, su fondo está abombado por pliegues longitudinales y transversales que lo fragmentan, determinando cubetas accesorias, pero aun de dimensiones respetables, es decir, regionales.

Las abundantes, al menos, comparativamente hablando, aguas de lluvia y de deshielo de la vertiente meridional pirenaica, desde el Norte de Pamplona hasta los Nogueras, en la parte que no es de escorrentía ni de evaporación, se infiltran por los estratos secundarios y terciarios del sinclinal subpirenaico mencionado y no encuentran salida hacia el Sur, debido a la barrera que opone la citada alineación de anticlinales.

Así, pues, este complejo sinclinal parece que pueda tener gran interés desde el punto de vista hidrológico, subrayado, además, por la mayor cota o altura de su fondo con respecto al del valle del Ebro.

Creemos, por tanto, indispensable hacer un estudio más detallado de esta posible cuenca, tanto para buscar niveles permeables de interés hidrológico general, como posibles salidas de esta cuenca subterránea.

Porque, aquellas cadenas no son absolutamente continuas todas o casi todas, son pliegues-falla con un flanco septentrional de una inclinación media de unos 20°, que precisamente se hunde para constituir el fondo de la cuenca, pero que suelen cerrar periclinalmente en sus extremos, formando medias cúpulas, de manera que entre cadena y cadena queda una zona deprimida, un boquete o aliviadero natural de la cuenca subterránea, que debe constituir un canal importante de salida hacia el Sur, aprovechando, además, el desnivel que supone el escalón geológico de descenso hacia la depresión auténtica del Ebro.

Exponiendo estas ideas de manera menos inconcreta, aunque sin descender a un detalle que nos veda el carácter de esta comunicación, señalaremos que un primer elemento o segmento de dicha depresión está constituído por la famosa «Cuenca de Tremp», en cuya denominación coinciden los conceptos geográfico y geológico, este último, más amplio, porque la depresión geológica se prolonga por el Oeste bastante más allá del concepto puramente geográfico.

En efecto, este sinclinal se prolonga hacia el NO., hasta la sierra de Sevil (al O. de Boltaña), curioso accidente tectónico que está constituído por un pliegue anticlinal de enormes dimensiones, dirigido de N. a S. y cuya edad es indudable y estrictamente pirenaica. Por el Sur, la depresión está cerrada en cubeta por el flanco N. de los Montsechs; por el Este, por la sierra de Rialp en su terminación periclinal hacia la Conca, y al N., por el complejo de plegamientos pirenaicos.

Un posible desagüe natural, que, desde luego, habría que comprobar con estudios de detalle, se sitúa quizá entre Alquezar y Naval, porque el flanco oriental de Sevil, constituído por calizas lutecienses, se hunde profundamente hacia el Este, y queda tal vez interrumpida la barrera meridional hasta la zona de Naval, donde afloran de nuevo las formaciones secundarias y eocenas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El sinclinal de la Conca o su prolongación occidental, reaparece al otro lado de la sierra de Sevil con considerable amplitud y regularidad, constituyendo el fragmento unitario más importante del complejo, que denominaremos cubeta de Secorún.

Por el Norte, viene limitado, como siempre, por el anticlinorio de la zona Pirenaica, mientras que por el Sur está cerrado por el conjunto Santo Domingo-Guara, que es un complejo anticlinorio de segundo orden, cordillera que contiene varios pliegues paralelos y discontinuos, algunos de ellos vergentes al Sur y cabalgantes, pero que presentan al N. un frente continuo como un flanco ininterrumpido que se sumerge hacia el N. para formar el fondo de la depresión. Por el E., la mencionada sierra de Sevil, completa un perfecto cierre en cubeta, por su cruzamiento con las sierras anteriores.

Por el Oeste no hay una barrera que cierre de N. a S., como lo hace la sierra de Sevil por el Este, sino que se inician, a la altura de Sabiñánigo, dentro de la cubeta, varios pliegues anticlinales con cierre periclinal hacia el Este, que van alcanzando altura hacia el Oeste, correspondiente a mayor intensidad de plegamientos, y subdividiendo de esta manera la cuenca en otras más estrechas y paralelas entre sí.

Así tenemos unos estrechos sinclinales en el área oligocena que queda al N. de Petilla, Sos del R. C., Cáseda y Tafalla. El cierre meridional de estos sinclinales, está constituído por un largo anticlinal, en oligoceno, que probablemente no es sino la prolongación occidental de la sierra de Santo Domingo, cuyo eje, al hundirse hacia el Oeste, hace perder relieve topográfico al anticlinal que desaparece como tal sierra. Este accidente se sigue por el Oeste en zonas aún poca conocidas, en su detalle, quizás hasta el mismo Estella, admitiendo que es posible que este anticlinal en algunos segmentos sea relevado por otro algo desplazado al N. o al S. Como dijimos antes, más al Norte, y ya en eoceno, tenemos varias cubetas parciales muy notorias al Oeste por los pliegues de Leyre y Navascués, pero admitamos que, como estas Sierras cierran periclinalmente hacia el Este, por efecto de un hundimiento de los ejes anticlinales en esa dirección, podría igualmente allí haber vías de desagüe profundas.

Aún más al N. tenemos una gran depresión del estilo de la Secorún, y que, en realidad, es la prolongación occidental de su parte septentrional; la depresión de Aragües, que se subdivide en dos a la altura del Roncal por el anticlinal de Güesa, y, aún más al Oeste y en la misma alineación, por el de Osa-Arizcuren, pero entre ambos anticlinales el eje se deprime y forma otro de aquellos portillos naturales.

Aún por el Oeste tenemos otra cubeta más bien marcada, el sinclinal de Peña Izaga, cuya barrera al Sur está constituída por los anticlinales de Alaiz y de Idocin-Aldunate.

Finalmente, al O. de Pamplona hay una región poco conocida en su geología de detalle, pero que, a juzgar por los datos que tenemos, es aún una depresión o cubeta sinclinal y que, precisamente, constituiría el cierre más occidental y final de todo el complejo a que nos venimos refiriendo, porque surgen allí las sierras cretáceas y eocenas justo al Oeste de Estella.

Vista a grandes rasgos la morfología subterránea del modelado geológico, pasemos revista a las probabilidades de infiltración y alimentación de estas grandes depresiones.

Los niveles más altos que encontramos en este sinclinorio corresponden a una formación lacustre de edad ludiense-oligocena, compuesta de una alternancia de areniscas calíferas y margas, y, que, por consiguiente, ofrecen ciertas facilidades a la formación de horizontes acuíferos cautivos.

Por debajo de esta serie, abundan las áreas de Flysch eoceno, que, si bien, en general, es bastante impermeable, tiene frecuentes niveles calizo-arenosos que, en cambio, ofrecen la ventaja de su gran continuidad.

Las margas azules lutecienses existen casi constantemente por debajo de estos niveles, formando un magnífico fondo parcial para las infiltraciones que se hayan podido producir en los bancos superiores. Por debajo de las margas existe un nivel calizo que, si en algunos sitios, como en la sierra de Sevil, es de gran potencia, disminuye, en cambio, notablemente a ambos lados de la citada sierra.

Las calizas del eoceno se apoyan constantemente en el garumnense que es predominantemente margoso y, por lo tanto, muy impermeable.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Como quiera que aquellas calizas afloran en áreas extensas y puede decirse que su existencia en el borde de la cuenca es constante, constituyen un magnífico nivel de absorción, y las aguas que por ellas penetran deben quedar detenidas en su infiltración al alcanzar el garumnense, cuya existencia también es constante bajo las calizas.

Es, pues, lógico suponer que entre las margas eocenas (o algunos niveles margosos intercalados en las calizas) y el garumnense, exista un nivel acuífero importante, que, en el fondo del sinclinal, debe ser artesiano. Esta suposición viene confirmada por el hecho de que los afloramientos garumnenses están jalonados en la cordillera subpirenaica por frecuentísimos manantiales, cuya aparición sirve de aviso de la proximidad del garumnense.

Bajo esta formación se encuentra un nuevo nivel muy poroso, constituído por las areniscas maestrichtienses, y, a continuación, tenemos las calizas y margas senonenses, que alternan repetidas veces en varios sitios. Por debajo de toda la serie del cretáceo superior, en la provincia de Huesca, aparece el Keuper, constituído, principalmente, por margas muy impermeables que retienen el agua infiltrada a través del cretáceo, quien aflora en grandes extensiones en la región y, por lo tanto, constituye otro excelente nivel de absorción de aguas.

Así, pues, debe aquí repetirse el fenómeno señalado para las calizas eocenas y el garumnense, y almacenarse las aguas en el contacto con el triásico. También esta suposición viene confirmada por la experiencia, pues los afloramientos del Keuper van casi constantemente acompañados de manantiales.

Vemos, pues, que es esta región que ofrece grandes probabilidades de alumbrar caudales importantes de agua y, en su consecuencia, creemos de gran importancia estudiarla con detenimiento y, si los estudios que se efectúen confirman las suposiciones expuestas, sería de gran interés ejecutar los sondeos profundos que la investigación requiera.

Vamos a pasar ahora breve revista a otras zonas, para señalar su mayor o menor interés hidrológico, sin intentar con ello no ya agotar las posibilidades, ni siquiera enumerar las más importantes, sino tan sólo dar algunos botones de muestra, de lo mucho que hay aún por hacer en el suelo patrio en relación con los grandes problemas hidrológicos.

DEPRESIÓN DEL EBRO

La depresión del Ebro tan vistosa y atractiva en primera inspección, por su extensa superficie y su gran cuenca de recepción, decepciona, sin embargo, al menos, en la medida óptima de su aparente interés, cuando se somete a análisis, bien que éste sea somero, de sus condiciones geológicas.

Ya las climáticas no son tan favorables como en las depresiones geológicas situadas más al N., porque la pluviosidad en la zona de recepción es mucho más reducida. Pero, sobre todo, si analizamos su disposición geológica, observamos que la mayor parte de su superficie está constituída por sedimentos subhorizontales que, por consiguiente, ofrecen escasísima facilidad de penetración de las aguas en profundidad. Dificultad acentuada por la índole litológica de los terrenos que constituyen su superficie, y aun por la mayor parte de su potencia, ya que predominan en ellos los tramos margosos y los francamente arcillosos o yesosos, poco o nada permeables.

Las únicas posibilidades de penetración están en los accidentes marginales del terciario, o sea, en los contactos de estas formaciones con las sierras marginales, bien sean éstas las subpirenaicas, las Ibéricas o las de la Cordillera costera. Estos accidentes, en efecto, ofrecen sus capas inclinadas y, como además, están desmanteladas por la erosión, los estratos se ofrecen propicios a la retención del agua, siempre y cuando no estén recubiertos, como sucede en gran parte de la Cordillera Ibérica y en algunos segmentos de la Pirenaica, por formaciones igualmente terciarias y transgresivas, horizontales. Estas formaciones marginales están constituídas con frecuencia por conglomerados y, casi siempre, son muy detríticas, en oposición a las más alejadas de las sierras.

Pero estas fajas de accidentes son estrechas, al menos, en relación con la enorme anchura de la cuenca del Ebro, porque los sedimentos que rellenan la depresión, sólo se pliegan en la inmediata vecindad de las sierras.

Recordemos, además, que las aguas que penetran en profundidad de las recogidas en la vertiente meri-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dional pirenaica, no llegan a la depresión del Ebro, sino que son retenidas en las antes citadas cuencas, situadas más al N.

Si a esto añadimos que a causa de la potencia de los sedimentos terciarios de la depresión del Ebro, si quisiéramos llegar a los horizontes permeables antes estudiados, tendríamos que atravesar un espesor que rebasa los 2.000 y que, quizás, llega a los 3.000 metros, se comprenderá que a estas profundidades es muy problemático que las aguas, aun si existen, tengan interés desde el punto de vista económico.

Algo más prometedora es, a este respecto, la parte más alta de la depresión, correspondiente al sector riojano, Haro-Logroño.

Porque allí, los espesores, aunque no bien conocidos, probablemente han de ser menores, pero, además, allí las sierras marginales, de carácter calizo o arenoso, y de permeabilidad relativamente grande, sí que contribuyen, en sus bordes, al menos, a alimentar los estratos profundos de la depresión.

Sin embargo, consideramos que esta zona es poco conocida geológicamente, para poder opinar sobre sus condiciones hidrológicas profundas, pero las circunstancias apuntadas hacen aconsejable un estudio geológico más detenido, tanto de las sierras marginales como de la depresión propiamente dicha, de cuyo estudio podría deducirse si es aconsejable la ejecución de algunos sondeos profundos.

DEPRESIONES DE VILLARCAYO Y DE MIRANDA DE EBRO

Aunque de interés más limitado, por sus dimensiones más reducidas, que el de las primeras cuencas citadas, llaman en cambio la atención por varias circunstancias geológicas muy favorables, las depresiones de Villarcayo y de Miranda de Ebro.

Geológicamente tienen la forma de cubetas, de depresión muy acentuada, especialmente la primera, y muy regularmente cerradas.

Su relleno central es eoceno, pero es, sobre todo, la alternación de bancos potentes de calizas y niveles de margas en el cretáceo superior y las areniscas del albense, extraordinariamente permeables y de gran potencia, en el inferior, presentes en su fondo, lo que presta interés a estas depresiones, acentuado por el hecho de la amplitud de los afloramientos de estas rocas en las zonas marginales, especialmente, en la septentrional de pluviosidad más acentuada, en donde afloran en muchas decenas de kilómetros todos estos niveles buzando al Sur y proporcionando de esta manera fácil camino de penetración a las aguas.

Parece, pues, evidente que sondeos profundos efectuados en las zonas centrales de estas dos cuencas, habrían de alumbrar caudales importantes.

OTRAS ZONAS INTERESANTES

Finalmente, exponemos ligeramente algunas sugestiones acerca de problemas de otras zonas que pueden ofrecer algún interés y que son susceptibles de constituir puntos de partida y de orientación de futuras investigaciones.

La Cordillera Ibérica, con su anchísima faja de pliegues paralelos, sin duda ha de ofrecer sinclinales o cubetas, más o menos reducidas, pero en donde las condiciones estratigráficas son óptimas, porque en estas cordilleras las capas de arenas y areniscas albenses, con espesores muy potentes, aparecen reiteradamente y con gran uniformidad constituyendo magníficas áreas de absorción; su yacente está compuesto por el Wealdense arcilloso, allí donde no se encuentran, además, las calizas aptenses, y su techo lo integran unos 90 mts. de margas cenomanenses, entre cuyos horizontes margosos pueden quedar prisioneros en las areniscas albenses, enormes volúmenes de agua. Esto, sin contar los depósitos que puedan formar las calizas senonenses en las zonas de sedimentación eogena bajo estos sedimentos, añadiendo que los espesores que habría que atravesar para llegar a las arenas albenses no es probable que excedan mucho de los 1.000 mts. y que serán menores, con frecuencia. Podría ser ejemplo de este tipo de cuencas de depresión terciaria la de Almazán-Ariza.

Deliberadamente hemos omitido la mención de ciertos factores geológicos, tales como por ejemplo, grandes fallas, cambios de facies, etc., que complican la cuestión, unas veces, en sentido favorable al acceso y acumulación de aguas, y otras, en sentido desfavorable, porque ello alargaría excesivamente esta exposición que deseamos sucinta, pues lo único que queremos subrayar es que, si se quiere abordar el problema del alumbramiento de aguas subterráneas profundas, con miras ambiciosas y no sólo tratando de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

resolver problemas locales y de trascendencia muy relativa, es absolutamente imprescindible emprender el estudio geológico de grandes unidades tectónicas, con visión del conjunto y del detalle, del estilo de la que se obtiene en las investigaciones de petróleo, es decir, con activas campañas llevadas a cabo por geólogos especialistas de larga experiencia.

Estos trabajos conducirán necesariamente a la ejecución de una vasta red de sondeos profundos que, como señalamos al principio y se deduce de los razonamientos que hemos desarrollado, son el único medio de alumbrar caudales importantes de agua, de interés verdaderamente nacional y menos expuestos a los vaivenes climatológicos.

Nos hallamos, pues, ante un vasto problema, que puede y debe tener transcendencia nacional, y que requiere la confección de un amplio plan de trabajos que permita ir estudiando sistemáticamente la distintas zonas de interés hidrológico y perforar los sondeos que aquel estudio aconseje. Así enfocada la cuestión, se ve claramente que, tanto por la finalidad perseguida como por los medios técnicos que requiere, rebasa las posibilidades de la iniciativa privada y entra de lleno en la órbita estatal, ya que el Estado es quien únicamente cuenta con los organismos idóneos y los equipos de geólogos y demás personal especializado, indispensables para acometer esta labor, cuyos beneficiosos resultados estamos seguros de que habrían de tocarse en un plazo relativamente breve.

Mayo, 1950.

Lo comenta el Sr. Sáenz cual sigue:

Las ideas contenidas en la Ponencia que se examina son dignas de la máxima atención y poseen un gran interés, en especial su propuesta de atravesar las cubiertas impermeables del Eoceno calizo y del Mesozoico de la cuenca del Ebro, mediante grandes sondeos para el alumbramiento de aguas profundas. Deben ser intensificados al máximo los estudios geológicos y tectónicos de los sinclinorios así constituídos ya que, con ello, se ha de lograr el perfecto conocimiento de nuestras disponibilidades de tal orden y, muy probablemente, de paso, como acertadamente indican los autores las orientadas en el sentido de la prospección de los yacimientos petrolíferos posibles de la precitada área geográfica.

Sin embargo, llegado el momento de elaborar un plan sistemático del aprovechamiento de tales aguas, se debe proceder con toda la cautela y clase de asesoramientos a fin de no perturbar sensiblemente el régimen de las aguas superficiales ligado en "indisoluble unidad" con el de las profundas, ya que, de forma contraria, se corre el peligro de afectar a grandes intereses actuales. El agua que se saca del interior del terreno se repone automáticamente a expensas de la superficial y, en teoría extrema, pudiera llegarse a la absorción de los cursos y escorrentías de cabecera con detrimento de los aprovechamientos intermedios.

Los alumbramientos artesianos y similares resuelven, en general, problemas locales muy atendibles e interesantes, pero no pueden hacerse base de una política general hidráulica, y, ni mucho menos, ser esta política desconectada de la de la utilización de los recursos fluyentes. En rigor la cuestión varía según las cuencas. Como acertadamente sostiene el Sr. Meseguer, una orientación en tal dirección cobra especial valor en las costas levantinas y meridionales de España, donde un gran caudal subterráneo se pierde inútilmente en el mar a través de las formaciones calizas, y su redención no puede aportar a la nación sino ventajas positivas y grandes. A mayor abundamiento, el aprovechamiento del agua en estas privilegiadas zonas es máximo,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y es en ellas donde debe volcarse el apoyo estatal en su atención a las investigaciones y trabajos que se propugnan.

Tratándose del interior de la Península, con su consabida estructura de cubetas tectónicas cerradas, la conclusión tiene que resultar necesariamente diferente, pues el agua subterránea por ellas retenida no vacía en el mar de modo directo. Por lo demás, el firmante no discrepa sino ligeramente de las otras apreciaciones del Sr. Almela y del Sr. Ríos. Cree, como ellos, que en la canal intramontada comprendida entre las cadenas pirenaica y subpirenaica, hay un voluminoso depósito de agua profunda, aunque insiste en el carácter casi estático de esta gran masa hidráulica, cuyo tratamiento debe ser análogo al que, en una buena administración, es de recomendar que se establezca entre capital e intereses.

Cree, en cambio, que no es tan independiente esta cubeta de la mayor que forma la fosa central del Ebro, como los autores suponen, pues las fallas y asomos triásicos del paralelo de Huesca no deben de bastar para establecer incomunicación entre ambas, y que de ello pudiera ser indicio la termalidad de los manantiales que en el borde Sur o Ibérico aparecen, y que se explotan en los balnearios de Fitero, Arnedillo, Torrecilla de Cameros, etc.

Propone como conclusión: los planes de aprovechamiento de las aguas subterráneas y profundas, no deben de desconectarse ni independizarse administrativamente de los de las superficiales.

Contesta el Sr. Almela que, efectivamente, lo que se pide es que se estudien con atención las posibles estructuras que, a primera vista, parecen interesantes en todos los aspectos, y uno de ellos es sin duda la red de manantiales existentes y la posible influencia de un sondeo profundo en tales manantiales. En todo caso estima, refiriéndose al gran sinclinal del Norte de Huesca, que no existen en todo el área afectada manantiales de importancia que den origen a arroyos de alguna consideración, pues todos los que surcan la comarca provienen del Pirineo, y, en la zona que nos interesa, sólo reciben pequeñas aportaciones que influyen muy poco en su caudal.

Además, el agua que se trata de buscar, es, como se dice en el estudio, profunda y, por naturaleza tectónica y estratigráfica descrita, es forzoso suponer que se encamina por niveles profundos y por distintos portillos a la verdadera cuenca del Ebro, por lo que no es lógico suponer que pueda brotar expontáneamente en lugares en que geológicamente no es admisible tal suposición. Por lo tanto, son aguas en absoluto independientes de los cursos de agua importantes de la cuenca que todas proviene de venas montañosas más septentrionales y elevadas.

Sin otras intervenciones, a continuación el Sr. Alvarado lee el siguiente trabajo número 77:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

N.º 77. - Aguas artesianas en las comarcas leonesas

Autor: D. ALFONSO ALVARADO MEDINA y D. FRANCISCO SOLACHE SERRANO
Ingenieros de Minas

I.—ORIGEN DE LAS AGUAS ARTESIANAS

Muy conocida es la importancia de las aguas, no marinas, llamadas aguas dulces o continentales, superficiales o profundas, en sus diversas aplicaciones para la navegación, fuerza motriz, regadío y economía humana, incluyendo en esta última utilización la parte precisa para los animales que emplea el hombre.

Nuestro trabajo se reducirá al estudio de una parte de las aguas subterráneas, las denominadas artesianas, que tanto beneficio han producido a las cinco provincias que abarca el territorio a que se limitará nuestro estudio, y que aún será mayor a medida que, por medio del trabajo de investigación, pueda incrementarse la cantidad de agua alumbrada.

Es evidente la influencia que en el establecimiento de los núcleos de población ha tenido el abastecerse de agua con comodidad. Esto puede observarse tanto en las poblaciones antiguas, como en las modernas; puede citarse en apoyo de esto, las ciudades de Roma, París y Viena y varias de nuestro país.

En la de Londres puede verse que los distritos más antiguos están sobre cascajo, en el que el agua subterránea existe en cantidad abundante, en tanto que las zonas intermedias, actualmente pobladas, pero en otro tiempo sin edificar, están sobre arcillas eocenas, no acuíferas. Se comprueba igualmente este hecho en Berlín, donde la parte más antigua se limita por completo al valle glacial, rico en agua subterránea, en tanto que las zonas del Norte y del Sur, más elevadas, no se poblaron hasta que se hizo el abastecimiento de aguas por medio de canalizaciones.

Aunque el hombre posee el arte de alumbrar agua desde tiempos remotos, es natural que la primera agua subterránea que utilizó sería de los manantiales, como también lo es el que la utilización de estos veneros de agua fuese más frecuente que la de los ríos, pues, aparte de la proximidad, la consideraba de mayor pureza, ya que el pueblo siempre ha relacionado el concepto de manantial con las cualidades de pureza, frescura y buen sabor.

Pero ya han pasado los tiempos en que pudiera creerse que cualquier agua de manantial tiene necesariamente que ser pura y sin tacha, en cuanto a condiciones higiénicas; contribuyen principalmente a su contaminación el establecimiento en su zona de alimentación de poblaciones humanas y al emplear

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en dicha zona abonos animales. Claro es que la contaminación de las aguas, adquirida en la zona de infiltración, será tanto más fácil que persista hasta que broten en forma de manantial, cuando el recorrido se haya efectuado a través de rocas permeables en grande, es decir, de rocas impermeables en sí, pero agrietadas, por ejemplo a través de las diaclasas de una caliza. En cambio, podrán experimentar las aguas un proceso natural de purificación, si su camino hasta surgir a la superficie ha tenido lugar a través de rocas porosas, con conductos casi capilares, como arenas o areniscas de grano fino.

Esta depuración a través de rocas porosas se verificará en su grado máximo en aquellos manantiales artificiales conocidos con el nombre de pozos artesianos, pues aunque el artesianismo pueda darse también en rocas impermeables agrietadas, este caso puede considerarse como excepción. A esta ventaja hay que añadir las de menor variación en la temperatura y caudal.

Como se sabe, se designa con el nombre de agua artesiana a la subterránea en la que el techo de la capa que la contiene está formado por roca impermeable, a diferencia de la subterránea corriente, que está limitada por una zona de aireación.

El aparato artesiano consta de las tres zonas siguientes: la de alimentación, la de presión o depósito y la de desagüe. Se comprende, por su denominación, la función de cada una.

Ahora bien, si con un sondeo se perforan todas las capas y se llega con él hasta la que contiene el agua a presión, ésta ascenderá por el tubo del taladro hasta una cierta altura, que dependerá de la de la zona de alimentación, y dicha agua puede elevarse en el sondeo por encima del terreno o quedar por debajo de él.

En cuanto a la técnica de alumbrar aguas por este procedimiento, se dice que ya la practicaban los egipcios en época anterior al cristianismo; pero este arte no se introdujo en Europa hasta el siglo XII, en el que por primera vez se perforó un pozo artesiano, el año 1126, en el convento de cartujos de Lila, en el Artois, región francesa de la que ha derivado su nombre esta clase de pozos. El perfeccionamiento de la técnica del sondeo y la consiguiente reducción de gastos ha permitido aumentar de modo asombroso el número de pozos artesianos y la cantidad de agua alumbrada con los mismos.

Se considera hoy evidente que el agua artesiana llega a las profundidades de la Tierra desde la superficie. Corroboran este aserto los restos de animales y vegetales que, procedentes de la superfcie, se encuentran en el agua artesiana, así como la influencia que en su caudal ejercen las precipitaciones atmosféricas.

En cuanto a la causa de la reaparición en la superficie del agua artesiana, ya se verifique por medio de sondeos o de un modo natural, hay que atribuirlo a la presión hidrostática.

Algunos autores han expresado la idea de que la fuerza ascensional del agua es debida a la presión de las capas impermeables que descansan sobre las acuíferas; pero Stapff ha demostrado de modo fehaciente que, para que tuviese lugar semejante estrujamiento del agua de una capa, sería preciso que el volumen de los granos fuese menor que el del agua, lo que nunca corresponde a la realidad.

También ha sido rechazada, por no haber aportado pruebas concluyentes, la idea de Jentsch. Opina este hidrólogo que la fuerza ascensional del agua artesiana debe atribuirse a pequeñas pulsaciones microsísmicas de la Tierra, y por tanto, que la causa no es hidrostática, sino hidrodinámica.

Puesto que, a pesar de lo debatidas que han sido ambas hipótesis, ninguna de ellas ha llegado a dar satisfacción plena, es preciso admitir la de la presión hidrostática.

En cuanto a la temperatura con la que el agua artesiana llega a la superficie, depende, como es natural, de la profundidad a que desciende el agua y del aumento del grado geotérmico.

DISPOSICIÓN DE LAS CUENCAS ARTESIANAS

La forma clásica de representación de una cuenca artesiana es la de la disposición de sus capas en sinclinal. No sólo es ésta la forma más difundida de representarla en los textos, sino que incluso eminentes geólogos del siglo pasado, solamente por el hecho de que la disposición de las capas no se ajustaba a este modo clásico, se han mostrado pesimistas acerca del artesianismo de regiones, en las que posteriormente se han alumbrado a presión por medio de sondeos.

Aunque éste no sea, ni mucho menos, el caso más

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

general, se presentan en la Naturaleza muchas cuencas artesianas de este tipo. El ejemplo más notable y conocido es el de la cuenca artesiana de París, formada por un depósito de capas en sinclinal que comienza por el Jurásico y llega hasta el Paleógeno, marcando sus límites rocas más antiguas, trastornadas.

Limitan la cuenca, por el Nordeste, las Ardenas, y los Vosgos por el Sudeste, y, después de un corto trecho, las capas jurásicas de la cuenca se comunican con las suizas de la misma formación. Por el Sur la limita el macizo de la Meseta Central Francesa, y por el Sudoeste, rocas paleozoicas y cristalinas de las regiones de Bretaña y de Normandía.

Pero la cuenca de París no se limita a la extensión citada, sino que también pertenecen a ella algunas partes del Sur de Inglaterra, ya que el Canal de la Mancha no representa más que un hundimiento de escasa importancia dentro de la cuenca, de modo que bastaría elevación insignificante del suelo del Canal para que quedasen unidas por tierra las costas francesas e inglesas. La delimitación de la cuenca por los macizos paleozoicos continúa bajo el Canal por las islas normandas hacia Cornwall, y esta península, junto con el país de Gales, forman el límite Noroeste.

En esta enorme cubeta vemos sucederse alternativamente sedimentos arcillosos, calizas, margosas y arenas, y, como fué relativamente poco afectada por trastornos tectónicos posteriores, se dan en ella condiciones extraordinariamente favorables para la formación de horizontes de agua artesiana.

OTRAS FORMAS DE CUENCAS

Una distinta estructura que puede dar origen a zonas de agua artesiana es la del pliegue monoclinal, o en rodilla, constituído por dos ramas horizontales o próximas a la horizontal, separadas por una inflexión, o si son desmanteladas por la erosión las capas de la rama superior, entonces afloran las de la inferior por su parte levantada, y si existen capas permeables que alternen con otras impermeables, aquéllas servirán de acceso a las aguas superficiales que corran sobre ellas, para depositarse a presión en la parte horizontal o poco inclinada.

Ofrecen ejemplo admirable de formación de agua artesiana de esta clase los Estados de Dakota y de Nebraska, en los Estados Unidos. La gigantesca llanura que, recorrida por los ríos Mississippí y Missouri, se halla entre los Apalaches y las Montañas Rocosas está formada por una serie estratigráfica que, recubierta en gran parte por derrubios de las glaciaciones modernas, llega desde el Cambriano hasta el Terciario. Esta llanura tiene pendiente débil, tanto desde el Canadá, en dirección Sur, hasta el golfo de Méjico, como desde las Montañas Rocosas, hacia el Este; pero en el límite mismo con esta cordillera, en los Estados de Wyoming y de Montana, se elevan las capas con bastante rapidez y llegan en la superficie a alturas que varían entre 1.000 y 2.300 metros, en tanto que la llanura está solamente a 700 metros.

En el Cretáceo, y debajo de unas capas arcillosas, existe una capa de arena y arenisca, la arenisca de Dakota, de potencia relativamente pequeña, pero de enorme extensión, que constituye un horizonte acuífero admirable.

Un caso más sencillo que los anteriores se presentará cuando en una región la superficie del terreno tenga inclinación algo menor que el buzamiento de las capas situadas debajo de ella y exista, a la vez, en estas capas diferencia de permeabilidad, o sea, que alternen capas permeables e impermeables.

También es en los Estados Unidos donde se conocen ejemplos de esta clase, al Sur de los Grandes Lagos, en los Estados de Wisconsin y de Illinois, de donde las rocas que llevan el agua artesiana se extienden hacia el Sur.

La meseta estratificada que aquí existe, recubierta por formaciones modernas del período glacial, está formada por rocas paleozoicas que comprenden desde el Cambriano hasta el Carbonífero. La llanura que forman estos terrenos tiene pendiente bastante uniforme de Norte a Sur y descienden con alguna mayor rapidez que la superficie del terreno.

Lo que la arenisca de Dakota, en los Estados del Oeste, lo son aquí dos horizontes de arenisca, de los que el más potente, que se conoce con el nombre de arenisca de Postdam, pertenece al Cambriano, y el menos potente al Siluriano inferior, y se le designa con el nombre de arenisca de San Pedro.

Un caso muy sencillo de formación de agua artesiana puede producirse cuando sobre una capa o un manto de agua subterránea ordinaria se deposita un

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

banco impermeable que llegue con su borde inferior hasta por debajo del nivel de agua subterránea.

Esta disposición se presenta frecuentemente en las formaciones cuaternarias, donde las morenas de fondo y margas arcillosas impermeables equivalen a la capa que represa el agua.

Ejemplos de esta clase existen con abundancia en el Norte de Alemania, de las que solamente citaremos uno.

Al Norte de Magdeburgo, entre Drömling y el río Elba, se levanta la meseta cubierta de bosque del Sur de Altmarke, en la que están las selvas de Letzling y Kolbitz. Dicha meseta está formada por masas de arena con un espesor de 30 a 40 metros, que llegan hasta la superficie sin ninguna cubierta de capas impermeables y constituyen una zona extraordinariamente favorable para la alimentación de agua subterránea. El agua desciende hasta que alcanza el nivel del agua subterránea almacenada, que está a 20 ó 30 metros de profundidad, y entonces camina en dirección Sur hacia el valle del Ohre.

De dos a cuatro kilómetros antes de dicho valle, obsérvase sobre la arena una morena de fondo que aumenta rápidamente de espesor, hasta 25 metros. Esta morena de fondo se termina, hacia el Sur, en la región del valle del Elba y del Ohre; el agua, por tanto, deja de ser artesiana y desemboca en la corriente de agua subterránea de los dos valles citados.

Los casos antes descritos son los que más frecuentemente dan lugar a depósitos de agua artesiana; pero pueden presentarse otros, menos frecuentes, y como ejemplo citaremos un caso estudiado, por G. H. Gordon, en Luisiana y Arkansas: Bajo lentejones de arcillas intercalados en una serie arenosa del Eoceno, el agua, que empapa las arenas, adquiere presión y puede ser surgente.

En otros casos las cuencas artesianas no se presentan sólo en una de las disposiciones reseñadas, sino que más de una de las estructuras típicas concurren a la formación de los distintos minerales acuíferos.

II.—RASGOS ESENCIALES DE LA CUENCA DURENSE

Vamos en las siguientes páginas a limitar nuestro estudio a las cuencas artesianas enclavadas en las cinco provincias que integraban el antiguo reino de León, y que constituyen parte principal de la gran cuenca hidrográfica del Duero.

La superficie de las zonas de conocido o probable artesianismo está, en parte, cubierta por mantos diluviales y en su mayoría constituída por estratos tercianos, miocenos y eogenos. Sus límites geográfico-geológicos son, en líneas generales, los siguientes: Al Norte, los estratos paleozoicos y cretáceos, muy levantados, de la Cordillera Cantábrica; al Este continúan las capas terciarias poco inclinadas, hasta llegar a apoyarse más lejos en el macizo Ibérico; al Sur, bancos paleozoicos y granitos, con retazos estratocristalinos del Guadarrama; por último, hacia el Oeste, o borde vertedero, las formaciones paleozoicas y manchas graníticas de la frontera portuguesa.

En esta amplia comarca la hidrografía está frecuentemente en íntima relación con la tectónica, y aunque su morfología haya sido modificada por la acción erosiva de los ríos y arroyos, siempre los pliegues debidos a movimientos orogénicos serán la armazón fundamental que determina las formas actuales.

La cuenca del Duero es la más elevada sobre el mar de todas las españolas; es algo superior a 800 metros su altitud media. Tiene el gran río su nacimiento junto a los elevados picos de Urbión, y tanto él como sus principales afluentes tienen sus cabeceras en terrenos antiguos de las cordilleras; siguen luego largos recorridos sobre mantos miocenos, sólo parcialmente permeables. Si se quiere determinar la cantidad de agua que circula por la red fluvial, para de ella deducir la que puede pasar al subsuelo, se observa ser mucho mayor en los grandes afluentes de la margen derecha, o septentrionales, cuales son el Esla y el Pisuerga, dirigidos hacia el SO y alimentados por la vertiente cantábrica meridional, mientras los afluentes de la margen izquierda—Duratón, Adaja, Tormes, etcétera—, mucho menos importantes, salvo este último, son alimentados por aguas escurridas en la vertiente septentrional carpetovetónica y sigue dirección media al NO; de modo que la altiplanicie de Castilla señala un buzamiento occidental leve, pero bien determinado.

En algunas partes de la red hidrográfica, cual en las proximidades del caudaloso Tormes, la denudación de los estratos miocenos superiores ha sido intensa; pero

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

en grandes extensiones de Palencia y de Valladolid aparecen intactos los bancos culminantes pontienses. En la parte baja de las cuencas las corrientes de los ríos han iniciado la división de las capas del tramo medio, y en las zonas septentrionales de la cuenca extensos mantos diluviales han protegido contra la denudación a las arcillas miocenas infrayacentes.

La media anual de lluvia precipitada en las diversas comarcas de la región estudiada varía notablemente según altitud, distancia del mar y, sobre todo, orientación de las montañas circundantes. De 520 milímetros hacia Burgos disminuye a 350 milímetros en León y a 280 en Salamanca. Su acentuada escasez —singularmente en Salamanca y Valladolid—llega a determinar clima subdesértico, con larga sequía estival, y ello da singular valor a la posibilidad de alumbrar las aguas que circulan a no muchos metros bajo la superficie.

ESTRATIGRAFÍA Y TECTÓNICA

No se conoce todavía con suficiente detalle la edad geolítica de todos los niveles o tramos integrantes de las cuencas, *que en realidad deben ser una sola*, ni el espesor de cada uno de los tramos litológicos, entre otras razones por insuficiente profundidad de los sondeos. En efecto, éstos apenas han pasado de 300 metros, y es probable que la potencia total del Terciario, incluyendo Mioceno y Oligoceno, exceda de los 800 metros, según indicó el distinguido Ingeniero D. Emilio Corugedo en interesante trabajo, insertado en tomo 54 del Boletín de nuestro Instituto Geológico y Minero.

Como es muy sabido, suele considerarse el mioceno continental de la Meseta Ibérica dividido en tres tramos: uno, inferior, formado por conglomerados y areniscas de bastante potencia, continuado por series de lechos de arcillas plásticas, rojas y amarillas, que alternan con bancos de arenas y arcillas sabulosas, más pequeños lentejones de margas y calizas. El contener restos de «Mastodon angustidens» y «Dinotherium giganteum» ciertos yacimientos, como el famoso del Cristo del Otero, cerca de Palencia, caracterizan este tramo como perteneciente al período Tortoniense, y es el que, hasta ahora, puede considerarse como fundamental de la cuenca terciaria.

Un segundo tramo, más alto, está compuesto por margas y arenas de colores vivos y claros, fáciles de reconocer a distancia; presentan, a veces, color gris azulado, y en ellos se insertan bancos de yeso; vienen asimismo, en su base, arenas y arcillas. Alcanza frecuentemente este conjunto, atribuído al Sarmatiense, unos 100 metros de potencia, mientras falta totalmente en otros parajes.

El tercero y culminante tramo, de edad Pontiense, con abundantes moluscos fluviales y algunos de «Hipparion gracile», que lo caracterizan, está perfectamente definido por sus bancos de caliza, cuyos lechos no suelen exceder de dos metros de espesor, y que, formando tapa con bordes verticales, destaca netamente sobre los taludes, margas y yesos del tramo medio en muchos de los «páramos». Su espesor, mucho menor que el anterior, y frecuentemente erosionado, no suele exceder de unos 25 metros.

Los dos tramos o pisos superiores son aparentemente horizontales, más bien subhorizontales, pues debe atribuírseles ligera inclinación Oeste en la inmensa llanura que se extiende por las provincias de Valladolid, Palencia y colindantes. Ambos tramos, no sólo carecen de agua surgente, sino que ocultan y tapan al inferior, en el que se apoyan, dificultando esto la investigación de aguas subterráneas; por tanto, el valor esencial para depósito de aguas profundas radica en el Tortoniense, y sólo a la inclinación y mayor altura marginal de sus estratos puede atribuirse la surgencia del agua. Además, la red hidrográfica está generalmente determinada por el plegamiento de estas capas cuyo buzamiento se dirige en casi todos los parajes, hacia el interior de la cuenca.

Los movimientos sufridos por las capas tortonienses han sido más intensos que los muy leves, experimentados por los tramos superiores, y fueron múltiples, constituyendo serie bascular que ha continuado moviéndose en las sucesivas épocas geológicas.

Al ser arrastrados los ríos, hacia el Oeste, cual le sucede al Esla, se distingue netamente que el movimiento es de época reciente, puesto que la denudación no ha modelado suficientemente sus lechos. El borde occidental de la cuenca, o conjunto de cuencas, era en épocas anteriores el más bajo, y la inclinación sufrida facilitó, además, la salida de los sedimentos, al mismo tiempo que el aterramiento del fondo del vaso; por los acarreos fluviales, contribuiría a hacer desaparecer el cierre de esta cuenca.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En las proximidades del contacto, entre el terciario lacustre y las formaciones antiguas, es donde los lechos muestran mayores inclinaciones, mientras hacia el centro aparentan ser horizontales. Dada la disposición de la actual red hidrográfica, es posible deducir la situación de los diferentes niveles acuíferos, en el gran sinclinal, pues basta para ello hallar la proyección de aquélla en los estratos arenosos, separados por alternativas de arcillas y de margas. De ello resulta que los lugares más apropiados para sondeos, que puedan alumbrar aguas surgentes, serán las proximidades de los ríos y aún mejor (según Corugedo en el estudio citado) las depresiones de los senos que alcanzan mayor pendiente en su recorrido.

Tal tesis se comprueba con observaciones hace tiempo realizadas, y ha sido reforzada con el resultado de modernas perforaciones, ya que junto al Órbigo, Torio, Bernesga, Esla y Pisuerga, así como en las proximidades de León, Valencia de Don Juan, Valladolid y Medina del Campo hállanse pozos que alcanzan los 1.000 litros por minuto y aún exceden de este caudal.

Actualmente, los datos que sobre el artesianismo de esta región son conocidos se refieren sólo a las capas altas del tortoniense, pues, por razones económicas, aún no se ha pensado en perforar grupos de estratos que alcancen los 600 a 800 mts. de espesor. Sin embargo, *un limitado número de grandes sondeos*, convenientemente emplazados, *sería del más alto interés geológico, industrial y agrario*, pues, con ellos, eventual y aleatoriamente, no sólo se investigan posibles lechos hulleros o masas de sales alcalinas, sino que *alcanzando niveles permeables mesozoicos que deben existir*, apoyados en las capas paleozoicas del gran sinclinal herciniano y que afloran en las zonas lluviosas de los bordes de la cuenca del Duero, se hallarían, verosímilmente, nuevas grandes reservas de aguas subterráneas.

Claro es que, tales ideas, que exigen amplia investigación, no deben entorpecer el proyecto, más fácil, de muchos taladros o pozos artesianos, de limitado coste, destinados a alumbrar las aguas muy puras, almacenadas en los más conocidos y regulares bancos permeables terciarios.

ALIMENTACIÓN DE LA CUENCA

Si tratamos de determinar cómo se infiltran las aguas que alimentan los diferentes niveles permeables, de los sucesivos pisos geológicos superpuestos en esta cuenca, destaca seguidamente que, a causa de los levantamientos orogénicos marginales, los estratos inferiores tortonienses y oligocenos se apoyan en terrenos mesozoicos y aun de edad paleozoica. Resulta así que las capas más inclinadas mesozoicas o antiguas de los bordes del sinclinal o semicubeta, son los que en la zona central deben ocupar posición más profunda mientras, junto a Valladolid y Palencia, culminan lechos sarmatienses o pontienses que no deben extenderse hasta los límites de la mancha terciaria, no sólo por discontinuidad original, sino por haber sufrido fuerte erosión.

Dedúcese así que la mayor parte de la cuenca artesiana estará alimentada por el agua pluvial caída en los estratos arenosos, por la recogida en lagunas y, en gran parte, por la que, al atravesar suelos permeables, se infiltra en los ríos. Entre tanto, el agua precipitada en las zonas montañosas marginales, de fuertes lluvias y nieves, alimentará sólo las zonas profundas del sinclinal o semicubeta herciniana.

DEPÓSITOS SUBTERRÁNEOS Y CAUDAL UTILIZADO

Muy variable es el caudal de los ríos de esta región. La relación entre su caudal de estiaje y las aguas medias es menor de 1:10 en muchos casos, y llega en el Esla a 1:1.500 la relación entre caudal de estiaje y las grandes crecidas. Estas fuertes o, mejor dicho, violentísimas variaciones de caudal que se traducen en pérdidas de agua utilizable en la estación seca han sido en parte remediadas por los grandes embalses, cual Ricobayo y Villalcampo, pero su corrección total representaría exagerado sacrificio económico.

Más ventajoso y económico sería, en muchos casos, utilizar como acumuladores y reguladores los volúmenes de agua que, por infiltración natural, o favorecida con presas de escasa profundidad y altura, se almacenen en lechos permeables apoyados en capas arcillosas. La ventaja de tales acumuladores o depósitos naturales resalta si tenemos en cuenta que los canales de riego, no conectados con embalses, son totalmente afectados por las variaciones de caudal fluvial,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mientras la lenta circulación de las aguas en las capas permeables subterráneas permite que no sean afectadas por el estiaje. Tenemos así que los alumbramientos artesianos dan aguas, constantes en volumen y de grata temperatura, en el verano, que es cuando son altamente valiosas en zonas secas y aun semidesérticas.

A más de ello, conviene observar que pueden hallarse bancos permeables poco dotados de agua, por cobertura o escasez de precipitaciones, los que, si se conduce a ellos las aguas de las crecidas de los ríos se cargarían con cantidad de líquido útilmente empleado en estiajes. Tales depósitos subterráneos, a más de evitar los daños de inundaciones, no están expuestos a la evaporación ni a ser colmado el vaso por limos arrastrados.

Para conseguir tal objeto, precisa detallado estudio estratigráfico de la zona situada aguas arriba de la que se proyecta utilizar como depósito, así como de los pozos en ella situados. Ahora bien, caso de llegar a solución satisfactoria, las aguas alumbradas frecuentemente muy puras, no sólo servirían para riegos, sino aun para abastecimiento de núcleos urbanos, evitando costosas conducciones.

Al considerar los coeficientes de escorrentía en diversos lugares de la gran cuenca, resulta indudable que pasa al interior del suelo una gran parte del enorme volumen de agua que en su superficie se precipita anualmente. Ahora bien, las perforaciones artesianas tienen buen éxito en comarcas de las cinco provincias leonesas cada vez más abundantes, y, como la suma de los caudales obtenidos, si bien, grande, es aún pequeñísima fracción del volumen infiltrado, es evidente la posibilidad de muchísimos y más importantes alumbramientos artesianos.

Sin disponer aún de completa estadística de los pozos que dan agua surgente, tenemos una cifra mínima de 2.000, las cuales asignándolas caudal medio de 20 litros minuto, deben dar un total de 21.024.000 metros cúbicos anuales. Estimando en 11.000 millones de metros cúbicos por año, o sea 350 metros cúbicos por segundo, la cantidad de agua que el Duero lleva a Portugal, si tenemos en cuenta la relación entre la superficie de la cuenca artesiana y la cuenca total del gran río y si suponemos una infiltración de 4.400 millones de metros cúbicos por año, inferior a la mitad del caudal fluvial, resultará que la cantidad de agua artesiana utilizada actualmente *no llega a media centésima* de la almacenada en el subsuelo.

Por último, consignaremos la observación de que la mayor parte de las aguas alumbradas en estas provincias son aún relativamente poco profundas, y que es posible que niveles geológica y topográficamente inferiores, colocados a mayor profundidad y en la base de la cuenca, por su estructura más basta y permeable, ricos en granos silíceo, encierren volúmenes de agua muy superiores a los contenidos en niveles semisuperficiales.

III.—SITUACIÓN GEOLÓGICA Y CARACTERÍSTICAS DE VARIOS POZOS ARTESIANOS

PROVINCIA DE LEÓN

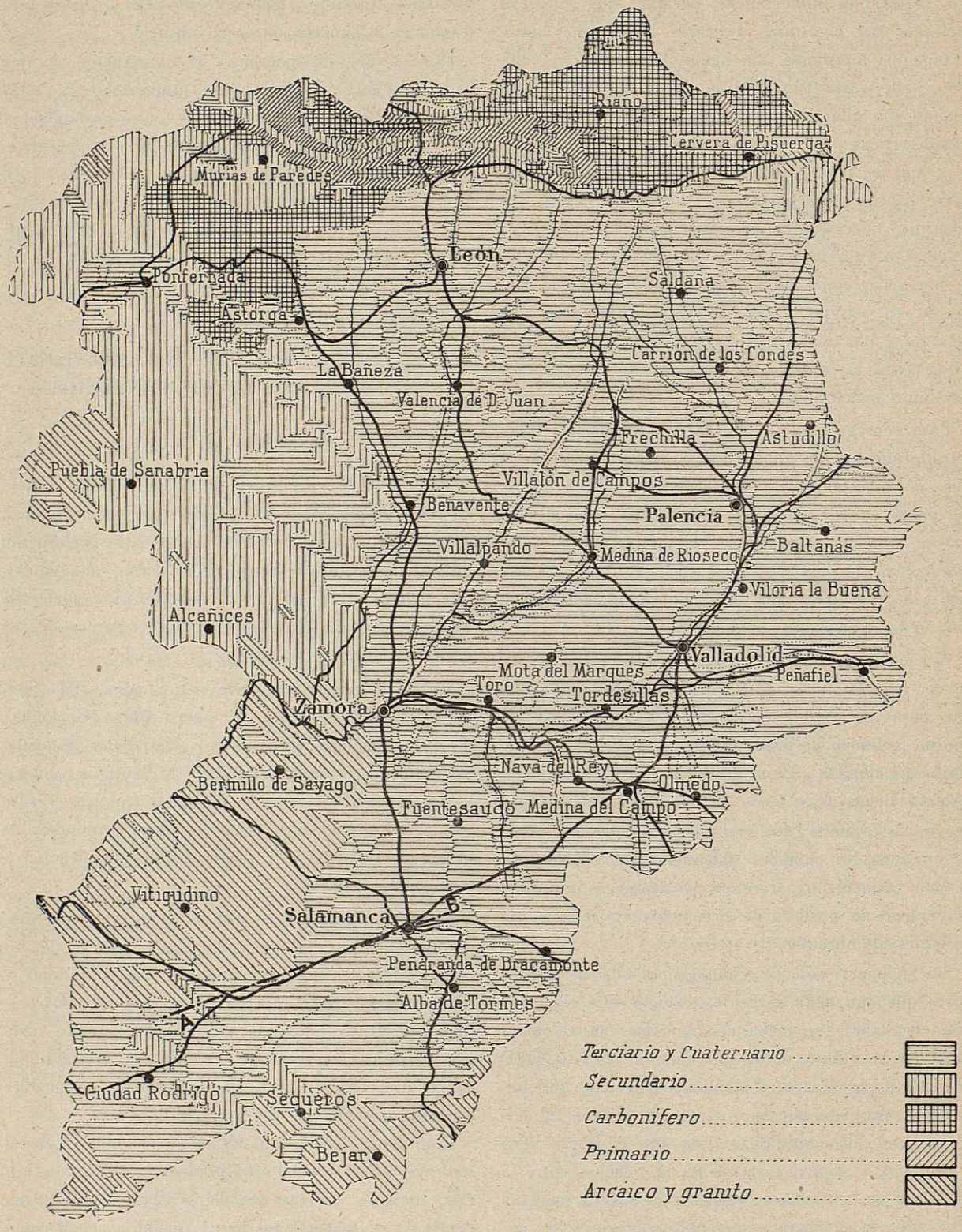
Es, sin duda, esta provincia la que ha sido objeto de más amplia exploración hidrogeológica. Se han obtenido en ella brillantes resultados en la perforación de muchos pozos artesianos, algunos, muy abundantes, que han permitido alumbrar importantes caudales de aguas surgentes, sobre todo, en las comarcas que se extienden al Sur y Sudeste de la capital.

En su notable Memoria de la hoja núm. 194—Santa María del Páramo—del nuevo Mapa Geológico, el ilustre geólogo D. Primitivo Hernández Sampelayo, enfoca, con gran amplitud, brillantez y acumulación de datos, el estudio de aguas freáticas y subterráneas propiamente dichas, o aguas profundas, de la cuenca del Duero, y dedica preferente atención a las llanuras leonesas.

Para el estudio, abreviado y divulgador, que desarrollamos en estas páginas prescindiremos de los datos referentes a aguas freáticas, tan difundidas y relativamente abundantes en las terrazas pleistocenas, para referirnos sólo a las alimentadas por los niveles acuíferos intercalados, a mediana profundidad, en las capas tortonienses, alternativamente permeables o integrados por arcillas impermeables.

Como ideas fundamentales de la tectónica regional indícase, en el citado estudio, que la depresión inicial, limitada por las cordilleras Ibérica y Central, donde sucesivos depósitos han formado la actual cuenca duriense, fué una fosa herciniana de eje normal a

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

EXPLICACIÓN

Escala de altitudes y profundidades 1.200 (1 m/m.=2 metros)

Entre cada dos pueblos se ha dejado un espacio horizontal de 10 milímetros (arbitrario)

NOTA. La parte rayada debajo de cada círculo encarnado representativo de pueblo indica el espesor de terreno hasta encontrar el nivel de aguas freáticas: Así $\frac{15}{15}$ *quiere decir que el nivel de aguas freáticas se encuentra a 15 metros. Las dos líneas paralelas verticales negras indican existencia de pozo artesiano (uno o varios)* } *en el pueblo que va encima*

La cifra colocada a la izquierda de cada trazo horizontal (al lado de cada pozo artesiano) indica la profundidad de cada uno de ellos, y la cifra colocada a la derecha, el caudal de agua en litros, por minuto.

Así $\frac{60}{70}\left|\begin{matrix}7\text{l.}\\ 8\text{l.}\end{matrix}\right.$ *quiere decir* { *Un pozo de 60 m. con caudal de 7 litros por minuto.* / *Un pozo de 70 m. con caudal de 8 litros por minuto.*

La indicación P. A. quiere decir Pozo Artesiano:

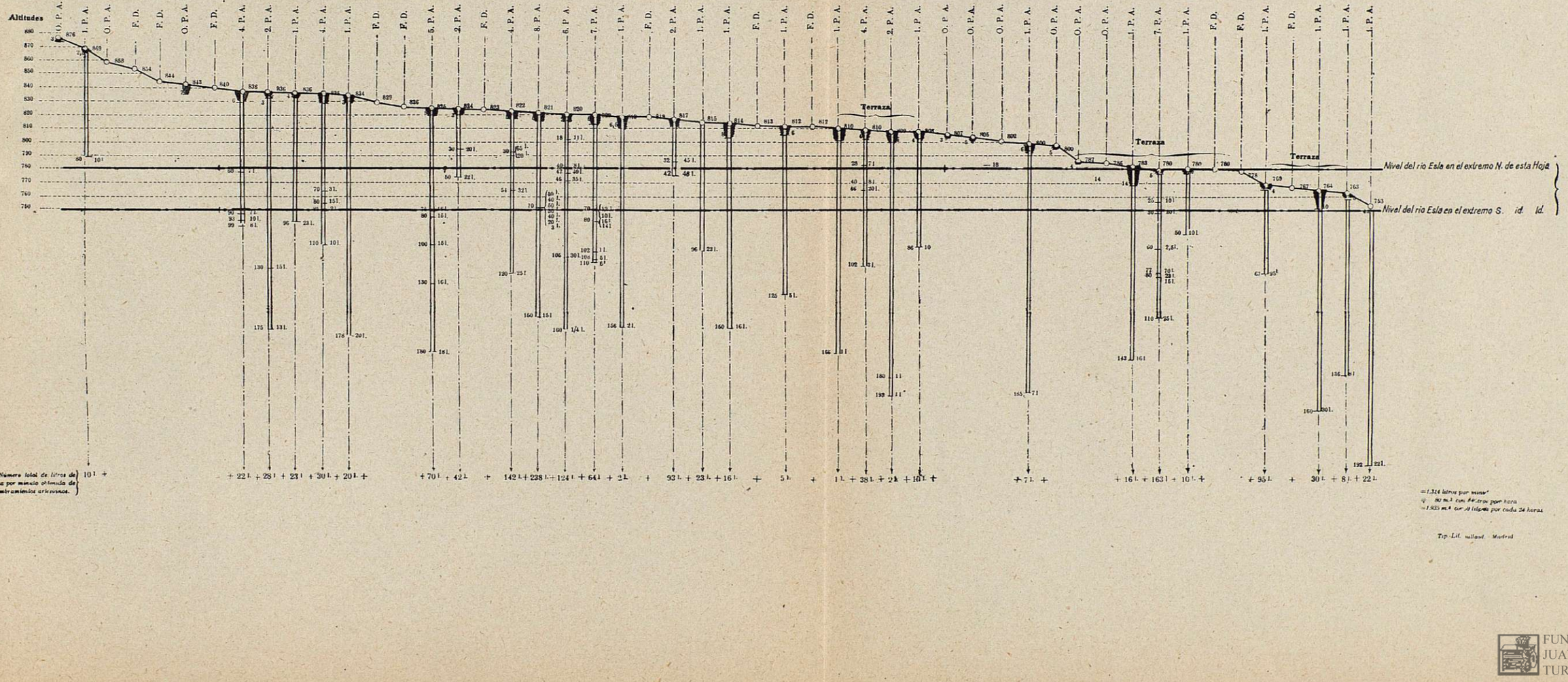
Así { *O. P. A. quiere decir que no existe Pozo Artesiano alguno.* / *4. P. A. quiere decir que existen 4 Pozos Artesianos a las diferentes profundidades que indican los trazos horizontales dibujados sobre cada Pozo.* / *F. D. quiere decir Faltan Datos.*

RELACIÓN DE TODOS LOS PUEBLOS COMPRENDIDOS EN LA HOJA 194 DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO

SANTA MARÍA DEL PÁRAMO

POR ORDEN DESCENDENTE EN SUS ALTITUDES

CON INDICACIÓN DE LA PROFUNDIDAD Y CAUDAL DE TODOS SUS POZOS ARTESIANOS



1 l. = 1.314 litros por minuto
1 m.³ = 80 m.³ con 64 litros por hora
1 l. = 1.935 m.³ con 49 litros por cada 24 horas

Tip.-Lit. Iglesias Madrid

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

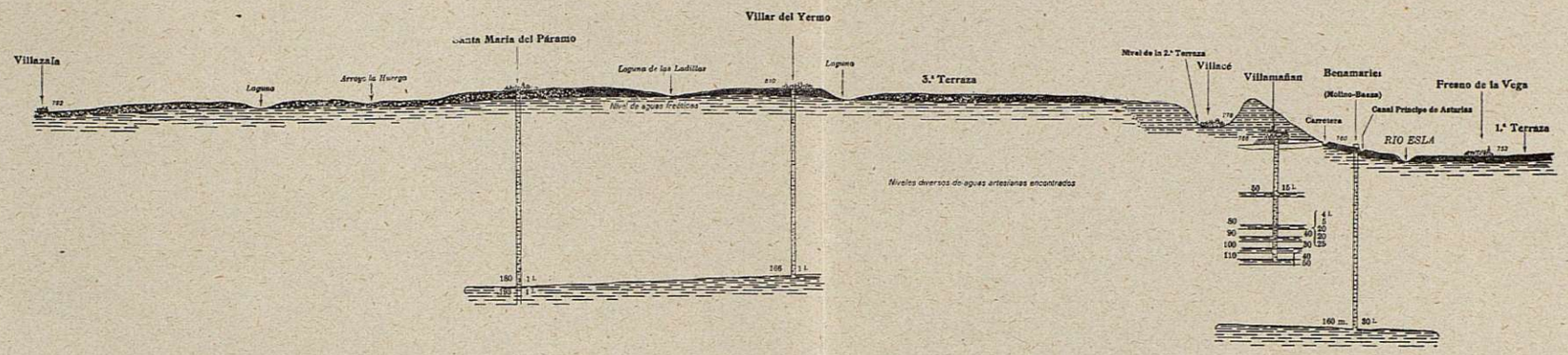
160 161 162
193 194 195
231 232 233

SANTA MARÍA DEL PÁRAMO

194

CORTES GEOLÓGICOS

E HIDROLÓGICOS *(Según P. H. Sampelayo)*

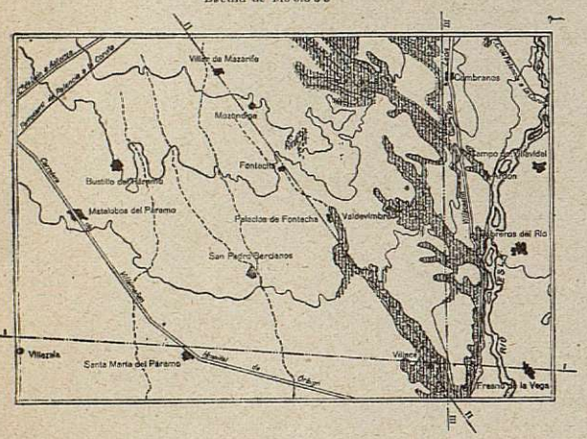


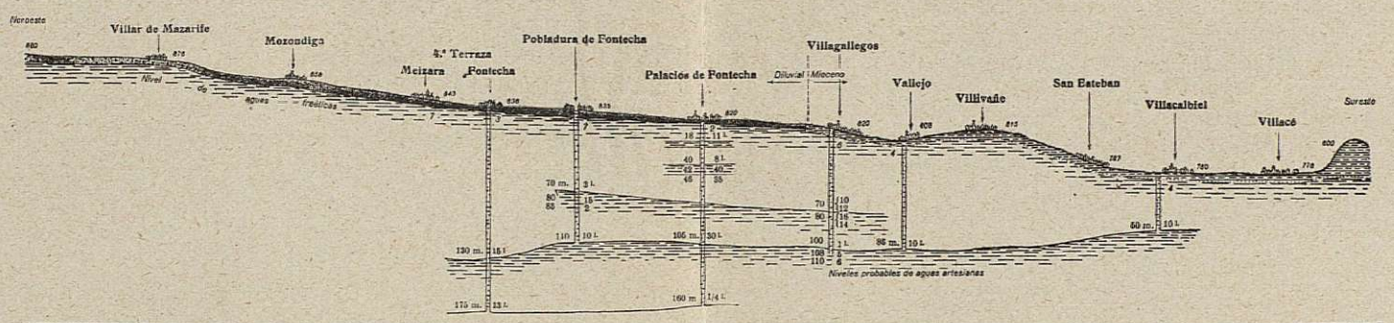
CORTE NÚM. 1 DEL TERRENO SEGÚN PLANO VERTICAL E.-O. PASANDO POR FRESNO DE LA VEGA Y SANTA MARÍA DEL PÁRAMO Y PROYECCIÓN SOBRE EL DE VILLAMAÑAN Y SUS NIVELES ARTESIANOS

ESQUEMA DE LA HOJA Nº 194

PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS CORTES GEOLÓGICOS

Escala de 1:150.000





CORTE NÚM. 2 SE.-NO. DEL TERRENO SEGÚN LA CUENCA DEL ARROYO FONTECHA O SEA SEGÚN PLANO VERTICAL PASANDO POR VILLACE Y VILLAR DE MAZARIFE

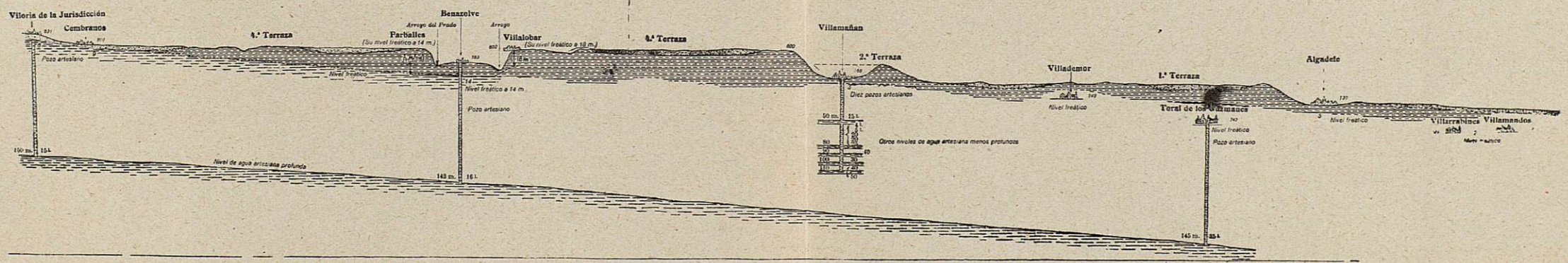
EXPLICACIÓN

Diluvial

Mioceno

Aguas freáticas y artesianas

Escalas (Horizontal 1:50.000
(Vertical 1:2.500



CORTE NÚM. 3 N.-S. POR VILORIA DE LA JURISDICCIÓN (EXTREMO NORTE DE LA HOJA 194) A ALGADEFE (AL SUR DE LA HOJA 232) Y PROYECCIÓN DE PUEBLOS CERCANOS Y POZOS ARTESIANOS SOBRE ESTE CORTE (LOS AZULES)

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

los pliegues de estratos paleozoicos que siguen de NO. a SE. las directrices de aquel gran movimiento orogénico. Dejando sin enumerar los movimientos, no tan esenciales, sufridos en épocas carboníferas y mesozoicas, haremos resaltar solamente que las extensas tablas de terrenos modernos en esta región indican la resistencia de este elemento o bloque continental y señalaremos también en las capas miocenas dos movimientos de la meseta rígida, suaves y posteriores al gran movimiento pirenaico dominante en la cordillera septentrional; uno de ellos, plegamiento muy tendido u ondulación de sus estratos y otro, de emersión en masa, ligeramente bascular, en dirección atlántica u occidental.

Pasando a detalles litológicos de las capas, en la comarca de Santa María del Páramo, se ha observado que en su formación miocena alternan tramos porosos e impermeables discontinuos, cual ocurre en las proximidades de la capital. Las aguas depositadas a presión en los bancos detríticos, limitados por techos y muros de arcillas más o menos arenosas, proceden principalmente, en esta comarca, de las que se infiltran en los bordes levantados de la Cordillera Cantábrica y son parcialmente reforzadas por infiltración de los cauces fluviales cuando éstos cruzan zonas detríticas.

Abundantes perforaciones han probado que hay isleos donde los niveles artesianos son casi exactamente horizontales y sensiblemente paralelos a la llanura superficial. Han sido hallados, en el territorio de la hoja núm. 194, los siguientes niveles acuíferos:

Uno, entre los 30 y 40 metros de profundidad, poco importante, que suele dar a las perforaciones de 5 a 15 litros minuto; otro, situado entre los 70 a 80 metros, que origina caudales de 40 a 50 litros minuto y cuyas aguas se elevan cerca de la superficie, y por fin, entre 150 y 200 metros de profundidad, hallóse otro nivel con agua surgente, no abundante en esta zona. En la mayoría de estas comarcas parece dibujarse como ley, que los sondeos más profundos alcanzan aguas más abundantes y con mayor presión.

Las profundidades iguales se agrupan realmente en rodales y manchas, quizás oblongas, derivadas de la forma irregular de los niveles porosos y son consecuencia de su formación por arrastres superficiales.

Determinándose de modo práctico las longitudes del sondeo, en cada zona, resulta que las perforaciones productivas, en ella, no sólo entrañan la propaganda más intensa y eficaz, sino que representan garantía del buen éxito y costo de los futuros taladros próximos. Por ello, creemos de gran valor, para realizar labor útil, la agrupación de datos concernientes a profundidades, caudales y situación topográfica de los sondeos, tal como se detallan en láminas del tantas veces referido brillante estudio inserto al final de estas páginas.

(Véase lám. núm. 2, profundidad y caudal pozos y lám. 3, cortes geológicos y niveles acuíferos.)

Conviene aclarar la relativa sorpresa de que, a veces, perforando dos pozos, en un mismo término y vecinos parajes, uno dé agua abundante, y el otro muy escasa; creemos esto debido a estar contenida el agua en lentejones porosos, de guijos y arenas, unas veces, casi aislados y otras, con buena comunicación entre ellos. Aun estando las pequeñas bolsadas de agua insertas en un mismo nivel de 150 a 200 metros de espesor, raras veces se forma manto acuífero continuo. Esto explica las variaciones relativas y absolutas de caudal y precisión entre perforaciones próximas.

También es fenómeno frecuente el «cansancio de los pozos» o su disminución de caudal desde un máximo, en el primer momento de surgencia, a sólo una quinta parte al cabo de pocos días. Puede explicarse este fenómeno si suponemos una bolsada de agua, en capa detrítica comprimida entre mantos arcillosos, y salida del agua con toda presión, en el momento de ser perforada la capa, cuya presión hidráulica va disminuyendo al establecerse régimen en la bolsada detrítica. Otra causa de disminución o agotamiento de estos pozos artesianos, al cabo de años, es la oclusión o relleno de los poros, en las areniscas y conglomerados finos, por las partículas arcillosas arrastradas, que también contribuyen a obstruir gradualmente la tubería de revestimiento del taladro.

Para no extendernos mucho más de lo previsto y conveniente, no intentaremos consignar datos de las muchas comarcas de esta provincia en que se han perforado, con buen éxito, pozos artesianos y nos limitaremos ahora a añadir datos referentes a los alrededores de la capital leonesa.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Esta ciudad de León se halla enclavada en la confluencia de los valles del Bernesga y del Torio, en extensa formación diluvial y tocando casi a los páramos miocenos que, en el territorio circundante, que corresponde a la hoja geográfica número 161, se desarrollan ampliamente hacia el E. y N. Presenta, además, hacia el SO. muchos isleos de medianas y hasta pequeñísimas dimensiones.

También este territorio ha sido objeto de minucioso estudio por parte de Sampelayo, quien redactó la Memoria de dicha hoja del nuevo Mapa Geológico y en ella ha acumulado muy abundantes datos hidrogeológicos.

Prescindiendo de los referentes al manto freático, muy conocido y explotado en todo este territorio, entre los que conciernen a alumbramientos de aguas subterráneas, relativamente profundas, merece destacarse la perforación hecha en la Granja Agrícola provincial. Allí fué hallado un caudal de 266 litros por minuto, a profundidad de 75 metros y que surgía a 4 metros sobre la superficie. Sin embargo, este y otros muchos buenos éxitos que se consignan en lámina adjunta, no garantizan resultado favorable sin previo estudio del paraje donde se intenta una perforación artesiana. Creemos evitables los fracasos, cual el sucedido en la Base de Aviación, paraje Virgen del Camino, de notable altitud y donde, aun alcanzando la sonda 240 metros de profundidad, no se halló ningún nivel de aguas surgentes.

Tal fracaso debe considerarse como excepción, ya que, en la misma capital y sus alrededores inmediatos, han sido perforados más de 40 pozos que, a moderada o mediana profundidad, entre los 30 y 187 metros, dieron agua surgente en más de 80 por 100 de los casos, y sólo fueron muy contados los de resultados negativos. Por la abundancia de su caudal, a más del perforado en la Granja Agrícola, merecen citarse los de Ordoño II, 16 y Presa de los Cantos.

Mejor aún ha sido el éxito obtenido por varias perforaciones en término de la Armunia, donde, mientras sola la perforación del Soponjal daba resultado negativo, otros ocho taladros alumbraron caudales de agua surgente muy considerables, de 80 a 300 litros por minuto, y a profundidades moderadas que varían entre 70 y 135 metros bajo la superficie.

Como tipo de excelente éxito logrado en esta comarca, reseñaremos brevemente las características y resultado de la perforación realizada por la entidad Alfageme e Hijo, para servicio de su fábrica de harinas, sita cerca del pueblo de La Armunia y a kilómetro y medio al SE. de Trabajo del Camino.

Un primer sondeo cortó capa acuífera, con unos 200 litros por minuto de caudal, a profundidad de 82 metros, y surgente. Otro sondeo, de menos diámetro, fué practicado en el interior del primero y cortó una segunda capa acuífera a la profundidad de 133 metros; este abundante nivel daba inicialmente agua surgente, hasta 12 metros sobre la superficie, cuyo caudal aforado en 1.300 litros minuto a la boca del taladro tendía a disminuir con la altura de elevación, así como al transcurrir del tiempo de explotación. Claro es que en éste, como en otros importantes alumbramientos, cabe proyectar inyecciones de aire comprimido para lograr, a veces, su rejuvenecimiento.

Al efectuar este taladro se atravesaron, primeramente, 55 ms. de arcilla roja ferruginosa, a ellos siguieron 25 ms. de arcilla blanca gredosa y bajo ella un banco de arenas con 2 ms. de espesor donde se cortó el primer nivel de agua surgente. Bajo las arenas se atravesó un tramo de arcilla blanca gredosa, semejante a otro superior, y a él siguieron arenas de unos 3 ms. de espesor, en cuyo muro se halló un segundo nivel acuífero con tal presión, al alcanzarle el taladro, que rompió por su empuje parte del lecho superior y lanzó al exterior varios metros cúbicos de arena.

En el Rastro, camino al Legido, otro pozo artesiano, sito en finca de D. José Eguiagaray, cortó a 117 metros de profundidad un nivel acuífero al que se atribuyó inicialmente un caudal surgente de 1.800 litros minuto, y en Benavides de Orbigo el manto artesiano fué cortado a los 127 metros, por una perforación que obtuvo caudal variable de 700 a 1.000 litros minuto.

Como guía, para prever profundidades probables de los lechos acuíferos y elección más acertada de los emplazamientos, conviene indicar sucintamente algunos rasgos de la estratigrafía y litología del mioceno, en estas comarcas.

De los tres tramos Pontiense, Sarmatiense y Tortoniense, bien diferenciados en la Cuenca del Duero, sólo los bancos tortonienses, o del piso inferior, se

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

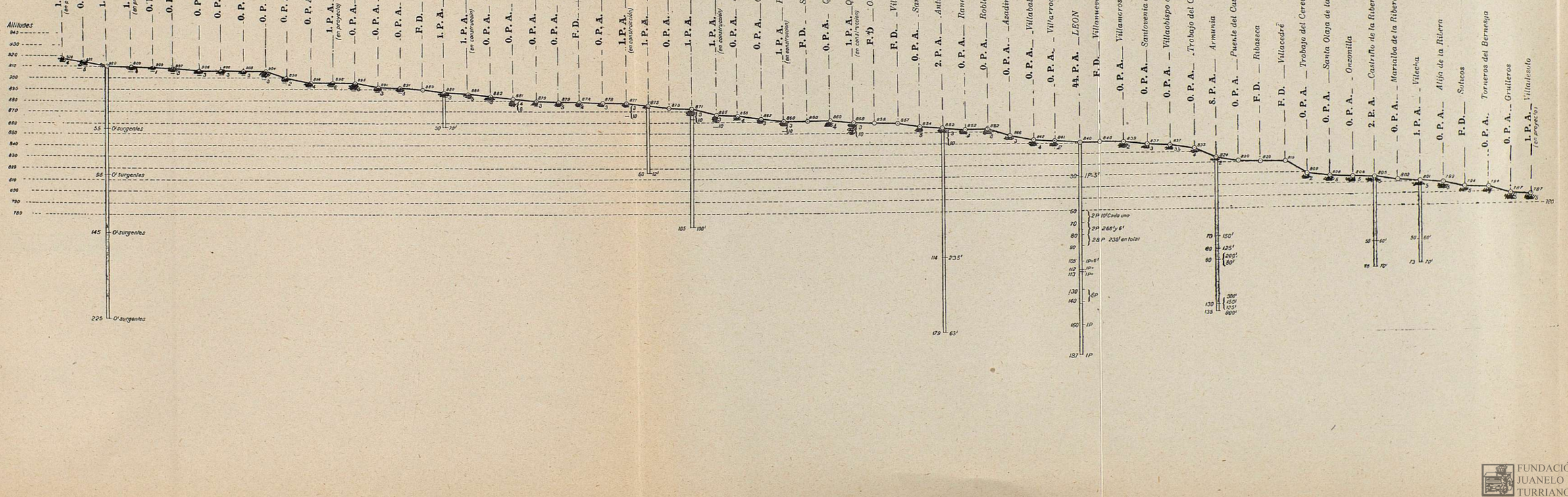
EXPLICACIÓN

Escala de altitudes y profundidades 1 : 2.000 (1 m/m. = 2 metros).
Entre cada dos pueblos se ha dejado un espacio horizontal de 10 milímetros (arbitrario).
NOTA.—La parte rayada debajo de cada círculo ⊙ negro, representativo de pueblo indica el espesor de terreno hasta encontrar el nivel de aguas freáticas. Así ⊙ 10 quiere decir que el nivel de aguas freáticas se encuentra a 10 metros. Las dos líneas paralelas verticales negras, indican existencia de pozo artesiano (uno o varios) ⊙ en el pueblo que da cima.

La cifra colocada a la izquierda de cada trazo horizontal (al sesgo de cada pozo artesiano) indica la profundidad de cada uno de ellos, y la cifra colocada a la derecha el caudal de agua en litros por minuto.

Así 60 | 70 / 70 | 8 *quiere decir* { *Un pozo de 60 m. con caudal de 70 l. por minuto* / *Un pozo de 70 m. con caudal de 8 l. por minuto*

Así {
- *0. P. A. quiere decir que no existe pozo artesiano alguno*
- *4. P. A. quiere decir que existen 4 pozos artesianos a las diferentes profundidades que indican los trazos horizontales dibujados sobre cada pozo*
- *F. D. quiere decir faltan*



RELACION DE TODOS LOS PUEBLOS COMPRENDIDOS EN LA HOJA 161 DEL INSTITUTO GEOGRAFICO

LEÓN

POR ORDEN DESCENDENTE EN SUS ALTITUDES

CON INDICACION DE LA PROFUNDIDAD Y CAUDAL DE TODOS SUS POZOS ARTESIANOS

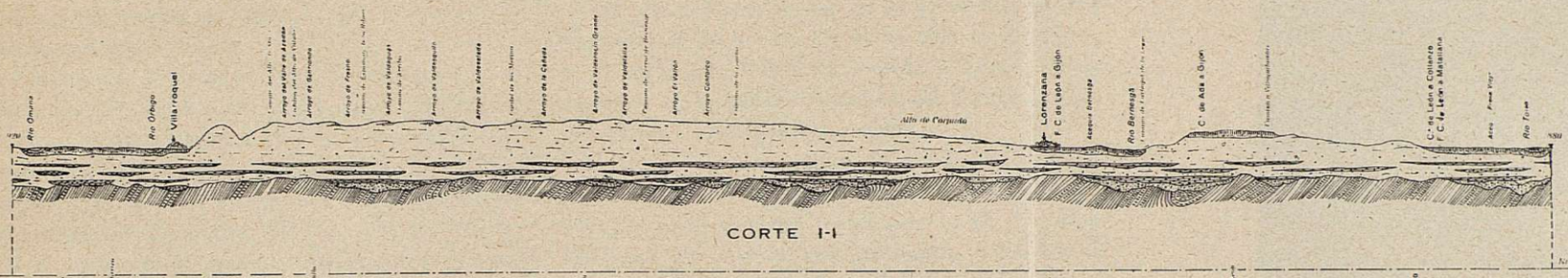
FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

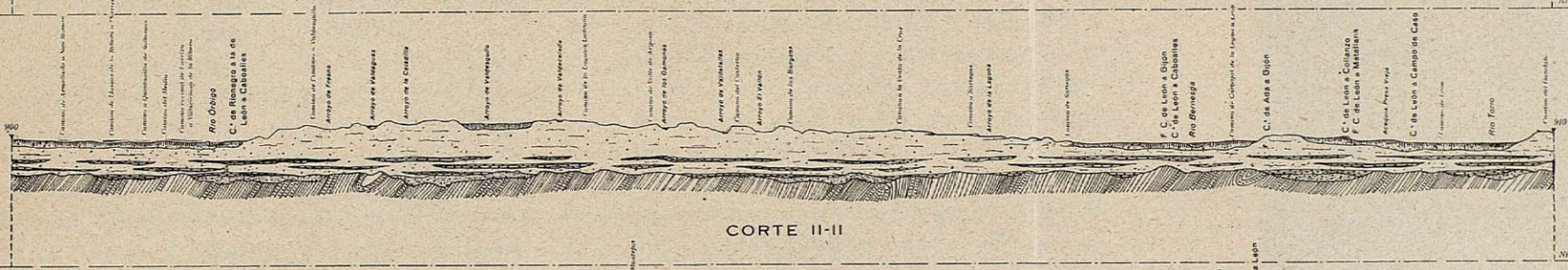
LEÓN. 161

CORTES GEOLÓGICOS

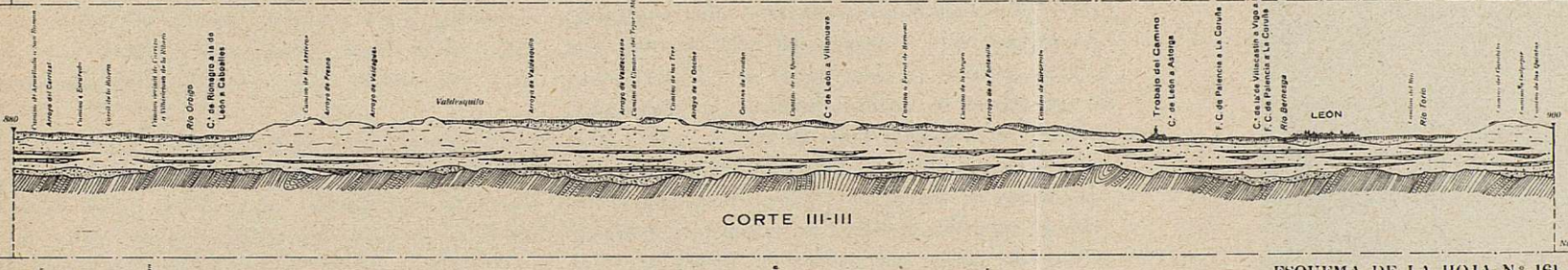
según P. H. Sampelayo.



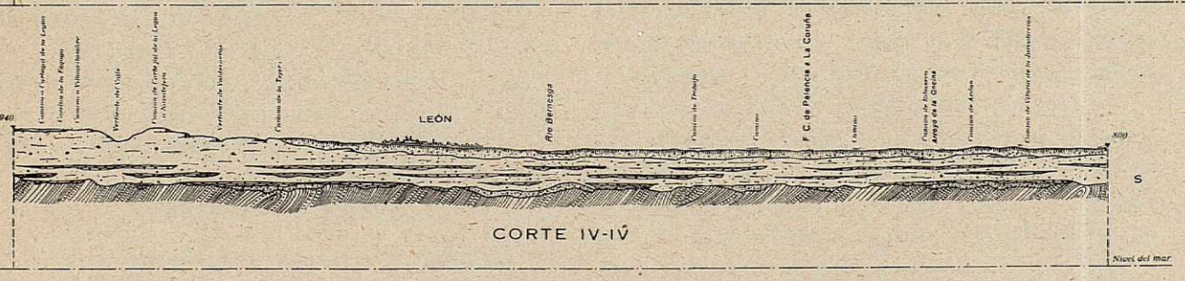
CORTE I-I



CORTE II-II



CORTE III-III



CORTE IV-IV

ESCALAS | Horizontal 1:50.000 | Vertical 1:20.000

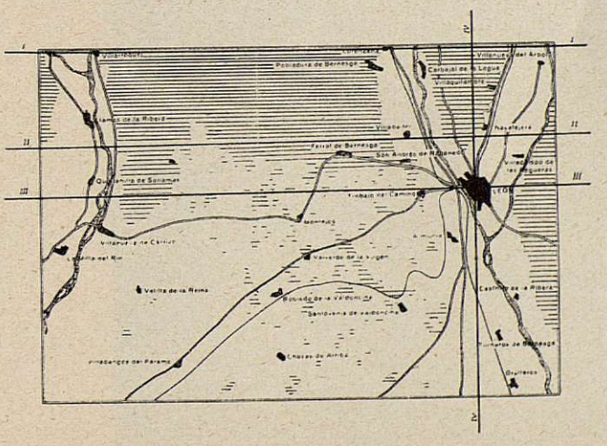
EXPLICACIÓN

- Aluvial
- Diluvial
- Mioceno
- Paleogeno
- Paleozoico
- *Niveles acuíferos*

ESQUEMA DE LA HOJA N.º 161

PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS CORTES GEOLÓGICOS

Escala de 1:150.000



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

presentan netamente en estas comarcas. Integran este tramo que alcanza unos 200 metros de espesor, y a veces bastante más, bancos casi horizontales de almendrones, arenas y arcillas. Cual es lógico, son de cantos muy gruesos aquellos bancos detríticos cerca del borde Norte. Tienen los conglomerados cemento generalmente arenoso o arcilloso, fácilmente disgregable, y la erosión da lugar a relieves suaves, con cerros casi planos.

Los bancos de pudinga, base del Tortoniense, son bastante más consistentes y presentan relieves más notorios, e igual ocurre a los bancos de arcilla de la parte alta que, a veces, cerca del cauce de los ríos, se presentan cortados a pique o en forma columnar; la potencia de las arcillas aumenta, naturalmente, hacia el centro de la cuenca, siempre alternando con bancos de arena irregularmente repartidos.

Dentro de esta formación, miocena inferior, donde los bancos de arena predominan sobre las arcillas, o sea, en la parte superior del tramo, y casi siempre recubiertas por diluvial de poco espesor, es donde más abundan las aguas a presión susceptibles de importantes alumbramientos surgentes. Para no extendernos demasiado insertamos al final de este trabajo láminas en que fueron agrupados cortes geológicos de estos terrenos, profundidad y caudal de los pozos perforados en pueblos de la hoja número 161, o de León.

(Véase lám. 5, Cortes geológicos a través de la hoja y lám. 4, Gráfico de pueblos comprendidos, por orden de altitud, profundidad y caudal de sus pozos.)

A quien interese conocimiento detallado de la estratigrafía de estas comarcas y datos minuciosos de las perforaciones artesianas en ellas realizadas, recomendamos la lectura de las Memorias correspondientes a las hojas números 161, 162, 193, 194, 195, 196 y 232 del nuevo Mapa Geológico Nacional.

PROVINCIA DE ZAMORA

El agua artesiana hay que buscarla principalmente en la mitad oriental, aunque esto no excluye el que pueda encontrarse también en la occidental, pero sólo en algunas regiones muy próximas a la línea Norte-Sur que pasa por la capital.

La razón de esto es que, solamente en las zonas citadas se presenta la formación terciaria, que contiene los niveles acuíferos, en algunas partes superficialmente, y en otras, recubierta por el terreno diluvial, o bien, por el aluvial, en las proximidades de los ríos.

Por los sondeos hechos en esta provincia, parece confirmarse la idea ya expuesta de que los lugares más favorables para ellos serán las proximidades de los grandes ríos, puesto que de los ejecutados en esta provincia, el de mayor caudal ha sido el practicado en el pueblo de Villalazán, situado a levante de la capital, y en la margen izquierda del Duero; sondeo que vamos a describir brevemente.

Como se ve por el gráfico del sondeo (lám. 6), la profundidad es de 190 metros y se cortaron 5 niveles de agua cuyos caudales fueron de: 1, 12, 12, 59 y 130 litros por minuto, respectivamente, a los 120,70 metros, 157,10 m. 180,10 m. A esta profundidad, y muy próximos surgieron la segunda corriente de 12 litros y la de 59 litros, y por último, al final del sondeo y de una capa porosa de 3 m. de espesor surgió la corriente de 130 litros.

Aparte de las acuíferas, como lo indica el gráfico, se atravesaron otras capas de arena que no contenían agua, lo que puede ser debido a que no afloran y no pueden por tanto servir de acceso al agua, o bien que, aun aflorando, son tan compactas que resultan impermeables. No se puede saber si se trata de este último caso, por haberse realizado el sondeo por el método de percusión sin obtener testigos.

Es muy alentador el éxito obtenido en este sondeo, por lo que, para investigar el terreno en mayor profundidad, proponemos se realice también, en las márgenes del Duero, un sondeo que podría situarse en uno de los pueblos de Fresno de la Ribera o Peleagonzalo, pero de 300 metros como mínimo, y por el método de rotación, a fin de obtener testigos.

Si, como es probable, se obtuviesen resultados satisfactorios, se tendría ya una guía para la ejecución de sondeos sucesivos, y se podría dotar a los pueblos de agua potable e, incluso, convertir en las vegas el terreno de secano en regadío.

PROVINCIA DE SALAMANCA

En este territorio es menor que en el de Zamora la superficie que puede ofrecer probabilidades de buen éxito para el alumbramiento de agua artesiana, a me-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

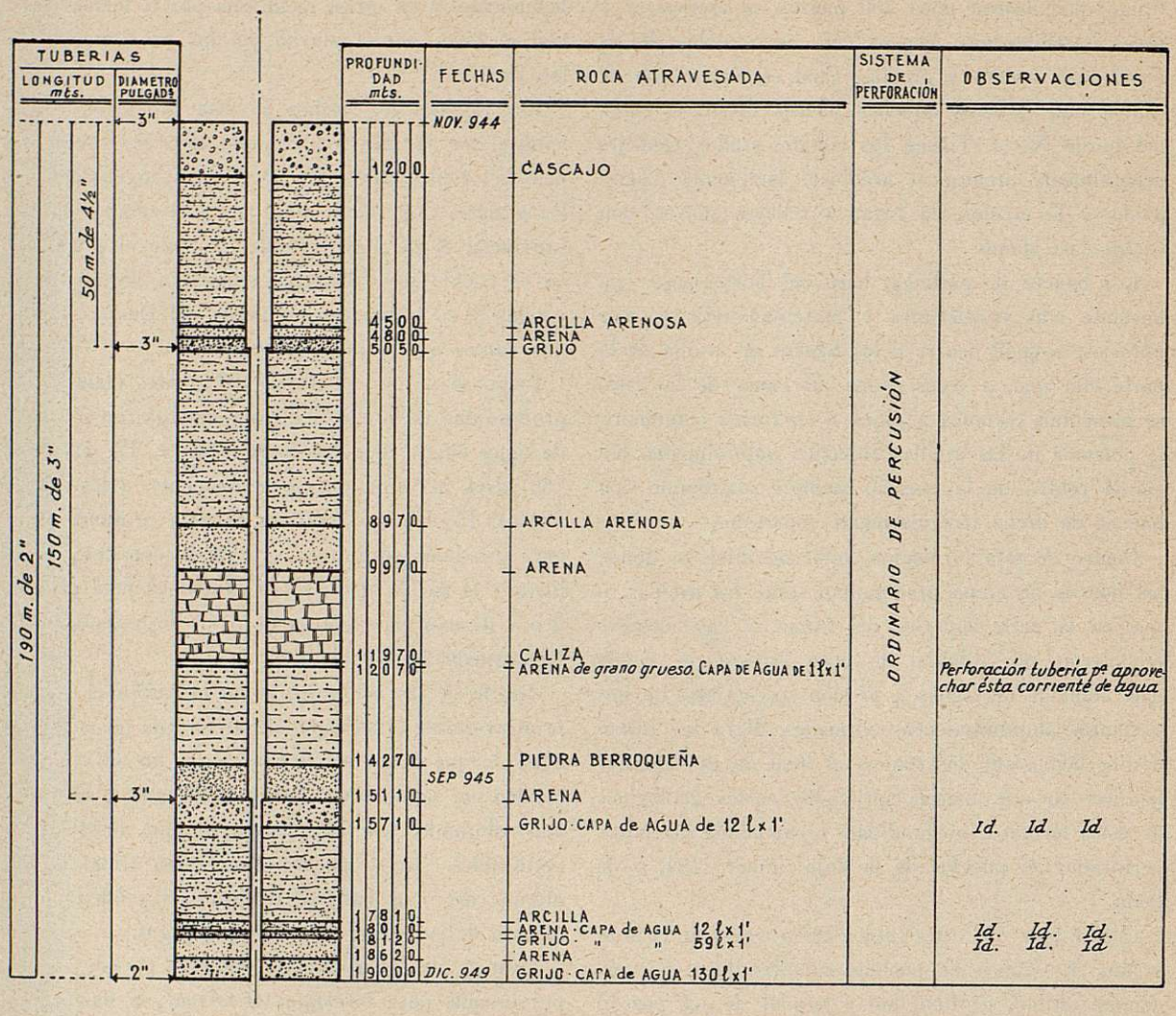


Lámina 6

diana hondura, por la menor extensión de la formación terciaria, a la que en algunas partes la rodean casi por completo las formaciones más antiguas.

Con amplia extensión, sólo se presentan el Neogeno en la superficie o recubierto por el Diluvial, a partir de la capital hasta el límite de la provincia. hacia el Norte, Nordeste y Este, aparte de una faja que, separada de la capital por el Siluriano, se une con el tercio de la parte Norte y se dirige hacia el Sudoeste.

Muy pocos son los sondeos de que tenemos noticias se hayan hecho en esta provincia para alumbrar agua artesiana; sólo hemos tenido ocasión de ver dos de ellos; uno en El Villar, y otro en San Fernando; distanciados ambos 2 kilómetros.

El primero tiene profundidad de 48 metros y su caudal es de 70 litros por minuto, y el de San Fernando tiene 27 metros de profundidad y 180 litros de caudal.

No creemos que deba desistirse de realizar trabajos de investigación en esta provincia para determinar los niveles artesianos, y estimamos que deben ser dos los sondeos que como mínimo deben ejecutarse a distinta profundidad.

Uno de ellos, al Este de la capital, que podría ser en el pueblo de Huerta, a orillas del Tormes, con

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

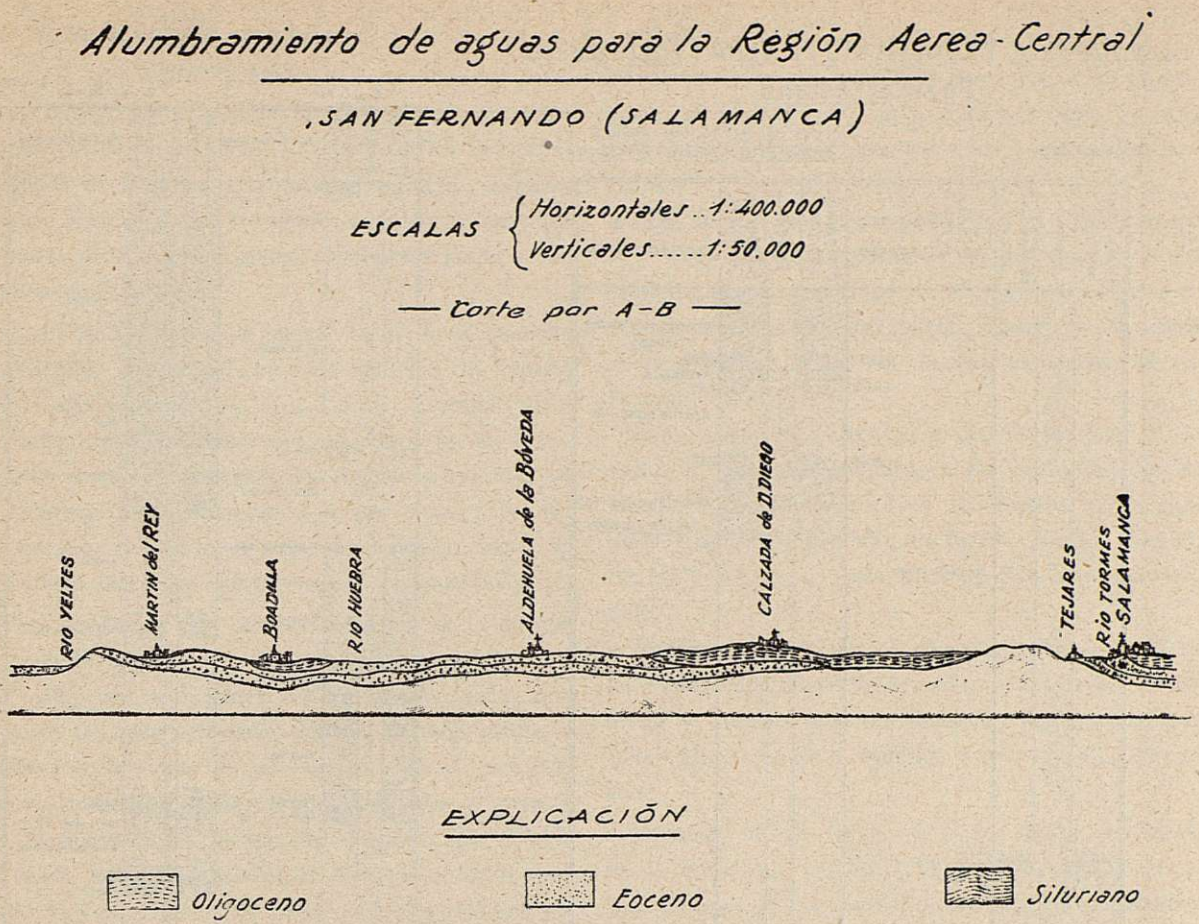


Lámina 7

profundidad de 250 a 300 metros, y el otro también en las márgenes de dicho río, pero aguas abajo de la capital, en las proximidades del pueblo de Valverdón y de 200 metros de profundidad, como máximo.

PROVINCIA DE VALLADOLID

En esta provincia no ocurre, como en las anteriores, que la parte que ofrece probabilidades de alumbrar aguas artesianas, queda reducida por la existencia de formaciones paleozoicas, puesto que toda ella (aun cubierta en bastante extensión por la cuaternaria) está constituída por las formaciones miocenas y, en consecuencia, serán otras las consideraciones que nos inducirán a fijar los puntos de los sondeos.

Son muchos los pozos artesianos que existen en esta provincia y pueden considerarse distribuídos en tres zonas. Una es la situada al Sur, o sea en los partidos de Medina del Campo y Olmedo, en la que, generalmente, los sondeos son de poca profundidad; otra, la central, en la que hay que incluir la capital y los pueblos de las cercanías; comprende ambas riberas del Duero, y en ella se han hecho sondeos con resultado positivo, desde Tordesillas hasta Quintanilla de Arriba; por último, la del Norte, o en realidad Noroeste, que abarca los partidos de Medina de Rioseco y de Villalón.

De esta última zona expondremos los resultados del sondeo ejecutado en el pueblo de Monasterio de la Vega.

Este sondeo, según indica el gráfico (véase lám. 8) tiene profundidad de 124 metros y en él se obtuvo un caudal de 40 litros por minuto al cortarse, a partir de los 68,50 metros de profundidad, una capa de arena y guijarro de 1,60 m. de espesor.

Los restantes terrenos cortados, a excepción de dos

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Sondeo de MONASTERIO DE VEGA (Valladolid)

Pozo artesiano

Escala 1:200

Caudal 40 litros por minuto
(ascendentes a 7 metros de altura)

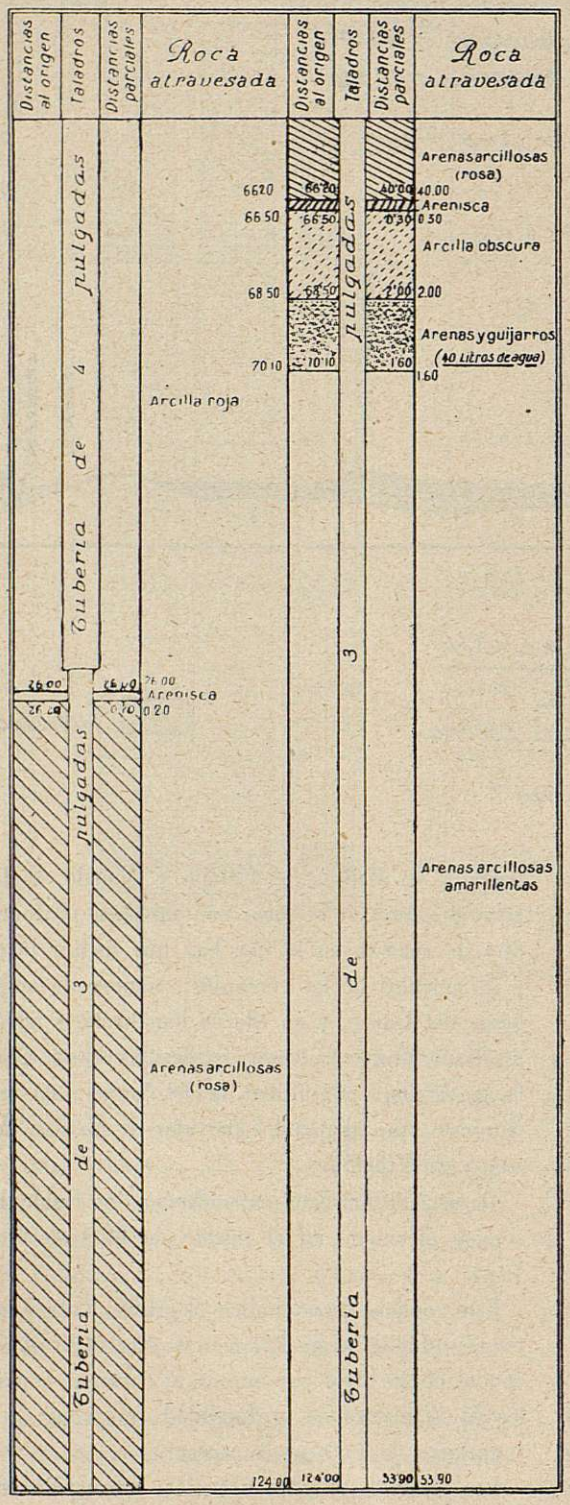


Lámina 8

Sondeo de BAHILLO (Palencia)

(Pozo artesiano)

Escala 1:200

330 l. por minuto

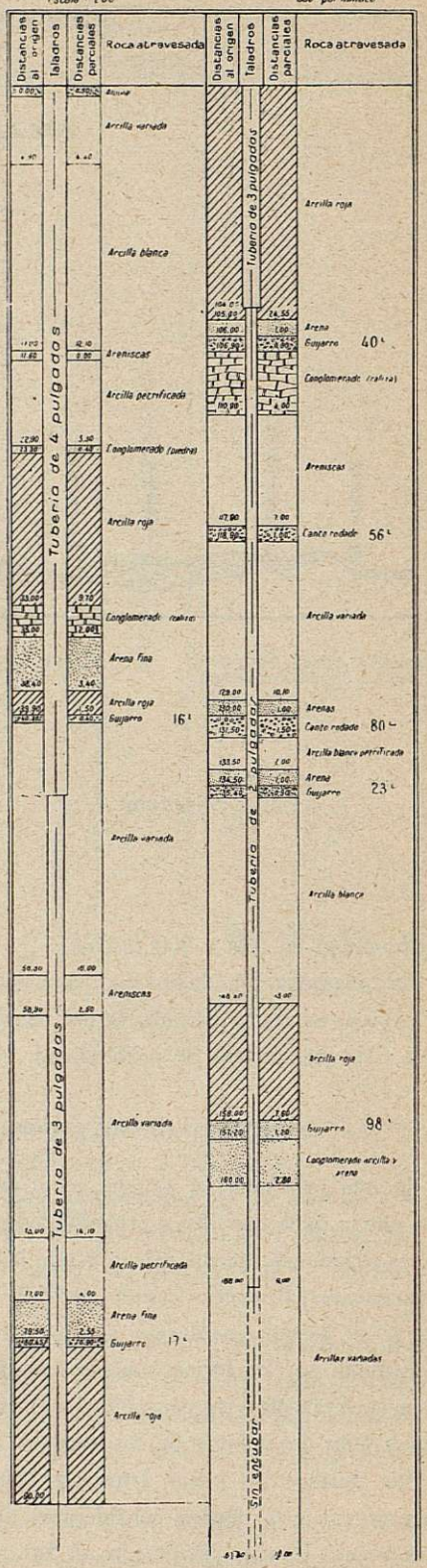


Lámina 9

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

capas de arenisca de pequeño espesor, situados a los 26 y 66,20 metros, fueron arcillas, o arenas arcillosas de varias coloraciones. En cuanto a las dos capas delgadas de arenisca que no dieron agua, pudieran hacerse acerca de ellas las mismas consideraciones, que al tratar de rocas semejantes, se hicieron respecto del sondeo de Villalazán.

Como de los tres pisos en que se divide el mioceno continental, que ocupa casi por completo la superficie de esta provincia, es en el inferior, formado principalmente por conglomerados, arcillas y arenas tortonienses, donde se presentan los niveles artesianos, sería natural, para atravesar el menor espesor posible de terreno, practicar un sondeo en algún lugar en que dicho terreno se presentase en la superficie.

Pero aparte de esta consideración, existe la de que en toda la importante zona cerealista, situada a ambas orillas del río Esgueva, no hay ningún pueblo que se surta de agua artesiana, debido, principalmente, a lo elevado del coste de un sondeo, con el que sería preciso atravesar, primeramente, los yesos y margas, del Sarmatiense, en el que el Esgueva ha abierto su cauce, antes de alcanzar el Mioceno inferior que, como ya hemos dicho, es en el que se encuentran los niveles artesianos.

Por lo expuesto, estimamos de sumo interés la ejecución de un sondeo en alguno de los pueblos de las orillas del Esgueva, y proponemos que sea, para reducir al mínimo el espesor de terreno en el que de un modo cierto se sabe que no ha de cortarse agua artesiana, en el pueblo de Renedo de Esgueva. Ha de tener dicho sondeo como mínimo una profundidad de 400 metros.

PROVINCIA DE PALENCIA

Aunque en este territorio la formación terciaria (recubierta en gran parte por la cuartenaria) ocupa gran extensión de su superficie, ya no ocurre, como en la de Valladolid, que sea aquélla la que forma exclusivamente su suelo, puesto que en la parte Norte, aproximadamente desde el paralelo de Cervera de Pisuerga, se presentan las series paleozoica y mesozoica, representadas, respectivamente, en sus bordes por los terrenos Carbonífero y Cretáceo.

Los sondeos ejecutados lo han sido, por tanto, en las partes central y Sur de la provincia, y en la mayoría se ha obtenido agua artesiana que, en una gran parte, aunque no en todos los taladros, fué surgente.

Uno de los más interesantes, por el gran número de niveles acuíferos cortados y la importancia de sus caudales, con profundidad no muy grande, es el sondeo ejecutado en Bahillo, pueblo situado en el centro de la provincia y en la margen izquierda del río Ucieza.

Como indica el corte del sondeo (véase lám. 9), se cortaron 7 mantos acuíferos a las profundidades de 40, 80, 107, 118, 131, 137 y 157 metros, cuyos caudales respectivos por minuto fueron 16, 17, 40, 56, 80, 83 y 98 litros, o sea, en total 330 litros por minuto.

Puede verse también en el gráfico que, además de las capas impermeables, se cortaron varios niveles de arena y arenisca que no contenían agua, acaso por faltar afloramiento o haberlos con compacidad excesiva.

Excluído, desde luego, el Norte de la provincia, de la parte que hemos de considerar para determinar el lugar de un sondeo de investigación, debemos eliminar también las superficies ocupadas por los páramos, en los que su suelo está formado por la caliza pontiense del Mioceno superior, puesto que de no hacerlo así, el sondeo habría de tener profundidad excesiva y su costo no resultaría económico; además que, si llegase a cortarse agua artesiana, quedaría muy por debajo de la superficie, a menos de llegarse a cortar capas mesozoicas básicas con agua a mucha presión.

No es que carezca de interés, por lo que no debe desecharse de modo absoluto la idea, el profundizar un sondeo en la parte ocupada por el Mioceno medio, pero de momento, resulta más indicado el realizarlo en la parte de la provincia que con otras zonas de las de Valladolid y de León, forman la comarca denominada Tierra de Campos.

La parte de esta comarca que pertenece a la provincia, está situada al SO., y en ella se han hecho ya perforaciones que aun habiendo dado agua, sus caudales no han sido abundantes y, algunos, no surgentes. Como las profundidades no han sido grandes, sería conveniente llegar con nuevos sondeos a mayor

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

profundidad de la reconocida hasta ahora, para cortar niveles acuíferos inferiores.

Como el terreno pertenece al Moiceno inferior, no sería excesiva la profundidad que habría que dar al sondeo, que estimamos en 350 metros.

En cuanto al lugar, aunque después de reconocido el terreno podría fijarse de modo definitivo, parece el más apropiado el pueblo de Villada.

El sondeo de Bahillo fué fijado y dirigido respectivamente por los Ingenieros delegados del Instituto Geológico y Minero de España en León y Palencia, D. Conrado Arquer y D. Emilio de Jorge.

El de Monasterio de Vega fué fijado y dirigido por D. Emilio de Jorge y el Villalazán por D. Conrado Arquer.

CONCLUSIONES

Como resumen de las consideraciones y datos consignados en páginas anteriores, parece justificado establecer las siguientes:

1.ª Según los datos que en cap. II dejamos indicados referentes a precipitaciones medias anuales en la cuenca del Duero y a la cantidad total de agua que este gran río lleva a Portugal, sólo pequeñísima fracción del agua infiltrada en los estratos subterráneos es alumbrada por los pozos artesianos.

2.ª El caudal de agua obtenido por estas perforaciones resulta, en general, de costo más económico que el procedente de grandes embalses o largas conducciones de aguas superficiales.

3.ª La temperatura y caudal de estas aguas surgentes, almacenadas en profundidad y de lento curso subterráneo, son poco afectadas por las variaciones meteorológicas estacionales. Esta relativa constancia de los volúmenes alumbrados, para bebida y riego, es de muy alto valor en comarcas de clima muy seco y largos estiajes.

4.ª El buen éxito obtenido en muchos sondeos y la circunstancia de que sólo en reducidas áreas de la cuenca terciaria neógena se hayan realizado tales investigaciones, permite asegurar que, en comarcas de idénticas o muy semejantes características geológicas y topográficas, pueden alumbrarse mucho mayores volúmenes multiplicando las perforaciones.

5.ª Considerando lo indicado, al reseñar los rasgos esenciales de la cuenca, es evidente que en muchos parajes y aun comarcas enteras de las cinco provincias leonesas sondeos en gran número y de profundidad inferior a 200 ms. alumbrarían grandes caudales de aguas poco profundas.

6.ª En la sucinta reseña de taladros-tipo, hecha por provincias dejamos indicados los parajes que, salvo resultado contrario de estudio estratigráfico local, juzgamos más indicados para emplazar nuevos sondeos de investigación hasta 300 ó 400 ms., o sea, a niveles semi-profundos tortonienses.

7.ª Creemos de notorio interés nacional la ejecución de dos o tres sondeos más profundos hasta 700 u 800 ms., que llegaran a alcanzar niveles permeables mesozoicos, que probablemente existen hacia el fondo de la cubeta y con agua a presión, infiltrada en los bordes de la misma y sitos a bastante mayor altitud. Para ubicación de dichos taladros parecen indicados, entre otros parajes, la Vega del río Sequillo, hacia el Sur y no lejos de Medina de Rioseco y la llanura diluvial que se extiende al Oeste de Sahagún.

Madrid, marzo 1950.

Sobre este trabajo interviene el Sr. Sáez, D. Clemente, quien dice lo siguiente:

Tratándose de la cuenca del Duero, considera que hay dos variaciones fundamentales con respecto a la del Ebro; una, referente a lo que se podría llamar Geografía humana y otra a la Tectónica.

El factor humano entra en cuanto al diferente uso que se hace en dicho país del agua. El regadío, salvo excepciones locales, es en general de interés menos vital, y los aprovechamientos hidroeléctricos que llamábamos intermedios son allí relativa-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mente poco importantes, por lo que la interferencia de los alumbramientos de agua y las captaciones superficiales son de menos consideración.

La concepción tectónica de la cubeta del Duero difiere esencialmente de la del Ebro en la interrupción del afloramiento periférico del Mesozoico entre La Robla y Segovia, por el Oeste, mientras que, por el lado oriental, cobra, en conjunto, la forma de una C invertida, cuya cuerda señala, aproximadamente, el límite de la gran transgresión supracretácica. Esta C es diferente del anillo que hay en el Ebro, constituído por las cadenas Subpirenaica e Ibérica y al que la gran arteria fluvial corta en las Conchas de Haro, primeramente, y, después de Flix, al final.

Consecuencia de ello, la masa caliza y las arcosas albenses del Duero afectan la forma de una cuña, cuyo espesor disminuye de saliente a poniente. Su punto más bajo está en un afloramiento cretácico poco conocido, junto a San Esteban de Gormaz, donde nace la importante fuente de "Los Ojos", aliviadero indudable de un gran embalse subterráneo.

Este contenido hidráulico no puede ser alumbrado (teóricamente se entiende), sino en el sector abrazado por las dos ramas de la C aludida, y será inútil buscarlo en las provincias de Zamora y Salamanca, por ejemplo. Esto no es óbice para que deba intentarse en tal ámbito la explotación de otras capas acuíferas más someras, pertenecientes a bancos permeables del terciario subhorizontal que pudiera, en efecto, resolver problemas de gran interés local. Termina reiterando la enmienda a la Ponencia del Sr. Almela.

Le contesta éste manifestando que no se debe hablar de que el cretáceo del Duero forma una C, sino, en todo caso, una D, pues, aflorando aquél terreno al Norte y al Sur en Segovia y siendo netamente transgresivo, es lógico suponer que entre estos dos puntos extremos exista el cretáceo bajo el terciario continental, e incluso que avance bastante cerca de los afloramientos paleozóicos.

El Sr. del Águila interviene, manifestando que la afirmación contenida en la conclusión 2.ª no está justificada, pues el trabajo de referencia no contiene la más mínima demostración y ni siquiera presenta un solo dato justificativo, y, aduce que, por el contrario, con arreglo a los datos que le son conocidos, el coste del agua lograda por medio de embalses es ordinariamente muy pequeño y, a veces, insignificante, representada incluso, por un céntimo de peseta el valor de m^3. y que, en cambio, los costes en pozo ordinarios o artesianos es en gran proporción mucho mayor.

Finalizado este debate, el Sr. Presidente concede la palabra al Sr. Templado, que lee el trabajo que sigue núm. 61:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

N.º 61. - Hidrología subterránea del campo de Cartagena

Autor: D. DIEGO TEMPLADO MARTÍNEZ
Ingeniero de Minas

En el litoral murciano que, como es sabido, forma parte de una de las regiones más secas de la Península, existe una zona, el llamado Campo de Cartagena, cuya riqueza en agua subterránea es realmente extraordinaria, lo que constituye una sorpresa para quienes no conocen aquel territorio.

En las presentes líneas tratamos de exponer las principales características de la expresada zona, en relación con el aspecto indicado.

Se da el nombre de Campo de Cartagena a la gran planicie comprendida entre la sierra de Carrasco y su prolongación hacia N. E. (sierras del Puerto, de los Villares, Columbares, Altaona y Escalona) que la separa del valle del Segura, y la cadena litoral que, con dirección O.-E. viene a morir en el cabo de Palos. La pendiente general del terreno es hacia el Mar Menor, en el que desembocan todas las ramblas y barrancos que lo surcan, muy a menudo secos como indican sus denominaciones.

Las tierras de labor poseen gran fertilidad, pero las cosechas se malogran en el cultivo de secano por la falta de lluvias. La intensidad de éstas es del orden de los 250 milímetros al año, según observaciones de una década reciente, y esta escasez se complica con el hecho de verificarse dicho meteoro durante 44 días solamente; en la casi totalidad de los restantes luce espléndido sol que eleva la evaporación a los mayores términos de la Península, 4,5 milímetros diarios, equivalentes a 1.642 anuales, o sea más de 6 y 1/2 veces el agua caída. Claro que esta evaporación se refiere a la que tiene lugar en superficie libre de agua, y no a la que se verifica en el terreno, pero, aun suponiendo a éste desprovisto por completo de vegetación, por lo que podría admitirse que su evaporación fuera aproximadamente el tercio de la de superficie libre de agua, aún resultaría que dicho terreno evaporaría más del doble del agua que recibe por lluvia.

A esta sequedad de un terreno agrícola excelente se le ha tratado de poner remedio con proyectos a base de aguas superficiales del Segre y del Taibilla, y algunas obras están empezadas desde hace tiempo, pero, entre tanto, el interés particular va resolviendo sus respectivos casos por medio de alumbramientos. Se cifran en más de 2.000 las hectáreas que están dedicadas por este medio al cultivo de regadío en la comarca.

La parte llana de la misma está constituída por materiales diluviales (travertinos, conglomerados, arenas, arcillas) que en la región E., o sea, la más próxima al Mar Menor, llegan a más de 30 metros de profun-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

didad, en tanto que hacia el O. profundizan, en general, cada vez menos. Este manto diluvial descansa sobre otro de alguna menor potencia formado por arcillas más compactas de diferentes coloraciones, con margas y calizas alteradas, que puede ser atribuído también al Diluvial, o quizás al Plioceno. Debajo se encuentra el Mioceno con calizas, areniscas y margas; sistema que aflora al N. y S. de la cuenca, y lo mismo que estos afloramientos se ven descansar sobre los triásicos atravesados por rocas ígneas que integran las sierras que la limitan, a los que acompañan en la litoral los estrato-cristalinos (pizarras y calizas marmóreas), es de suponer que se extiendan en profundidad por todo el ámbito de la zona, formando su substrato. La repartición en superficie de las diferentes formaciones geológicas se representan en el plano núm. 1.

Los datos de lluvia y de evaporación antes expuestos, nada favorables para la existencia de aguas subterráneas, se ven, sin embargo, contrarrestados, a estos efectos, por dos factores: uno, de orden meteorológico, y otro, geológico. El primero es la brisa marina portadora de humedad, que sopla con bastante constancia, y el segundo, la constitución del suelo, casi todo él de terreno de acarreo, y afectado de poca pendiente en general, lo que favorece la infiltración. Así resulta que, contra lo que a primera vista pudiera creerse, la comarca contiene la gran cantidad de agua que permite mantener en cultivo de regadío la considerable superficie de que al principio se da cuenta.

Estas aguas subterráneas se pueden dividir en dos grupos: uno, el de las contenidas en terreno diluvial, y otro, el de las que encierra el Mioceno subyacente. Las primeras, debido a la constitución del terreno que las contiene, con alternaciones de capas permeables e impermeables que es frecuente se repitan en una misma vertical, no se ofrecen en un nivel único, sino, generalmente, en varios que, además, no son los mismos al pasar de unos parajes a otros, porque los estratos no tienen continuidad en sentido horizontal, según es frecuente en esta clase de formaciones, sino que afectan forma de lentejones de mayor o menor extensión. Existe un nivel freático, o sea, el soportado por la primera capa impermeable, cuya profundidad varía con las cotas del suelo, y también con las condiciones de éste. Dicho nivel es alcanzado en el llano con pozos ordinarios. Y en la región O., donde la pendiente de la superficie se acentúa, por medio de galerías de largo recorrido, con su origen al nivel del suelo, o sea, lo que en minería se llaman socavones.

De estas galerías podemos citar la de Corvera que, partiendo de las proximidades de la casa de Villar, como a 1 1/2 kilómetros al S. E. del poblado, se dirige hacia el N. O. y alumbra un caudal con el que riegan unas 15 hectáreas. Otras son las de Fuente Álamo, en número de cuatro, conocidas con los nombres de Trébedes, Heredia Spínola, San Juan y Ceño, que suman importante volumen de agua utilizado en la mancha de regadío más importante de todo el Campo de Cartagena, a unos 5 kilómetros del indicado pueblo y a Poniente de la carretera de Albacete a Cartagena. Y por último, existe la de la rambla de los Simonetes o del Astiller que sube por dicha rambla desde las inmediaciones del poblado de la Aljorra, con longitud de unos 3 kilómetros, y que proporciona unos 3 litros por segundo. Respecto a la galería de los Trébedes, debemos hacer la observación de que en los últimos años se quedó en seco por descenso sucesivo del nivel acuífero, por lo que ha habido que practicar pocillos en su solera, donde se han instalado motores que elevan el agua a la altura de ésta.

Las aguas de las galerías de Fuente Álamo y de los Simonetes, como corresponde al terreno en que están excavadas, formado a expensas de rocas estratocristalinas, son las de mejor calidad, según puede apreciarse en el cuadro de análisis de la página 143. Especialmente, el contenido en cal de las indicadas aguas es muy reducido, pues sólo llega a poco más de la tercera parte del que las disposiciones oficiales exigen para que un agua pueda ser calificada como potable, lo que, unido a que la magnesia no pasa mucho del límite oficial, hace que el grado hidrotimétrico sea sólo de 29. En cambio, el cloruro sódico entra en muy fuerte proporción, carácter que, por lo demás, es común a las restantes aguas de todo este Campo, las cuales todas superan este contenido, a excepción de las de Corvera, que quedan, aproximadamente, con una tercera parte de dicha sal.

Los pozos excavados para alumbrar el agua contenida en el Diluvial son muy abundantes, aunque no están repartidos con regularidad, sino que se concentran en unos parajes más que en otros, en relación con la relativa irregularidad, en cuanto a caudal, de los niveles acuíferos. Primitivamente todos eran de no-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ANLISIS DE AGUAS SUBTERRANEAS DEL CAMPO DE CARTAGENA

Paraje	Corvera	Fuente Álamo	Valladolises	Aljorra	Albujón	Pozo Estrecho	La Palma	Torre Pacheco	Roda	Roda
Obra de alumbramiento y propietario.	Pozo del motor de Corvera 17,50 m.	Galería de los Trébedes	Pozo de la Confederación 75 m.	Pozo de D. Manuel Giménez 45 m.	Pozo de don Miguel Pérez Ros 45 m. y 35 de taladro	Pozo de don Francisco Saura 26 m. y 30 de taladro	Pozo de doña Rosario Zapata 20 m.	Pozo de don Manuel Ros 22 m. y 45 de taladro	Pozo de la casa del Marqués de Rozalejo 14 m.	Sondeo en la finca del Marqués de Rozalejo 250 m.
Anhídrido sulfúrico, grs. en 1.	0,7707	0,1270	0,7913	0,6299	0,9029	0,8651	0,9372	1,3406	0,9235	1,5071
Cal ... ... íd.	0,4611	0,0576	0,3952	0,2717	0,3870	0,3767	0,3726	0,5064	0,2327	0,6855
Magnesia... ... ... íd.	0,1261	0,0829	0,1603	0,1910	0,3405	0,3405	0,3639	0,6179	0,3495	0,3549
Cloro ... ... íd.	0,1456	0,1454	0,4793	0,8733	1,2106	1,1076	1,1183	2,3501	1,4555	1,8247
Cloruro sódico ... ... íd.	0,2399	0,6845	0,7898	1,4392	1,9950	1,8253	1,8429	3,8730	2,3987	3,0071
Grado hidrotimétrico	91°	29°	87°	72°	121°	121°	122°	184°	96°	161°

ria accionada, bien por caballería, cuando la profundidad era pequeña, bien por molino de viento de velas, típico en la región, cuando dicha profundidad era mayor, pero hoy van siendo acondicionados muchos de los antiguos y, desde luego, los que se construyen nuevos, con motores eléctricos en las zonas a que llega la red de distribución de esta clase de energía, o con motores de explosión en las restantes. Las profundidades de estos pozos son muy variables, desde 12 metros en las proximidades del Mar Menor hasta más de 50 al O. de la carretera general. Hay uno, llamado de la Confederación, en la ladera norte del Cabezo del Rey (SO. del poblado de Valladolises) que llega a 75 metros, pero, en realidad, no se trata de un pozo excavado para alumbrar aguas, sino de mina, abierto en su día para la explotación de los hierros de dicho Cabezo, y que hoy, paralizados los trabajos mineros, ha sido aprovechado para extraer las aguas que allí se presentan con relativa abundancia (15-17 litros por segundo), con la particularidad de ser termales.

Algunos de los pozos se completan con galerías en su fondo, que desaguan el nivel acuífero alcanzado por ellos, y muchos, en lugar de esta extensión horizontal, realizan otra vertical sin salir del terreno Diluvial, por medio de taladros en busca de nuevos niveles, cuya agua al ser aquéllos cortados asciende por lo regular hasta el fondo del pozo ordinario. De modo que de una u otra forma, por galerías o por taladros, se incrementa el primitivo caudal, aunque, por lo regular, no llega a ser lo suficiente crecido para poderse utilizar sin embalse, o sea, que no suele alcanzar los 25 ó 30 litros por segundo que son necesarios para regar directamente. Respecto a calidad del agua, según puede verse en el cuadro antes citado, su dureza varía desde 72 grados hidrotimétricos en un pozo de la Aljorra hasta 184 en otro de Torre Pacheco, al mismo tiempo que el contenido en cloruro sódico es fortísimo (cerca de 4 gramos en litro en este último pozo, y, por lo menos, de 0,79, como en el de la Confederación antes citado), lo que hace que las aguas, no solamente sean impotables, sino que no sirvan más que para algunos cultivos, a pesar de lo cual representan positiva riqueza en una región donde el secano tiene poco valor por la escasa frecuencia de las lluvias.

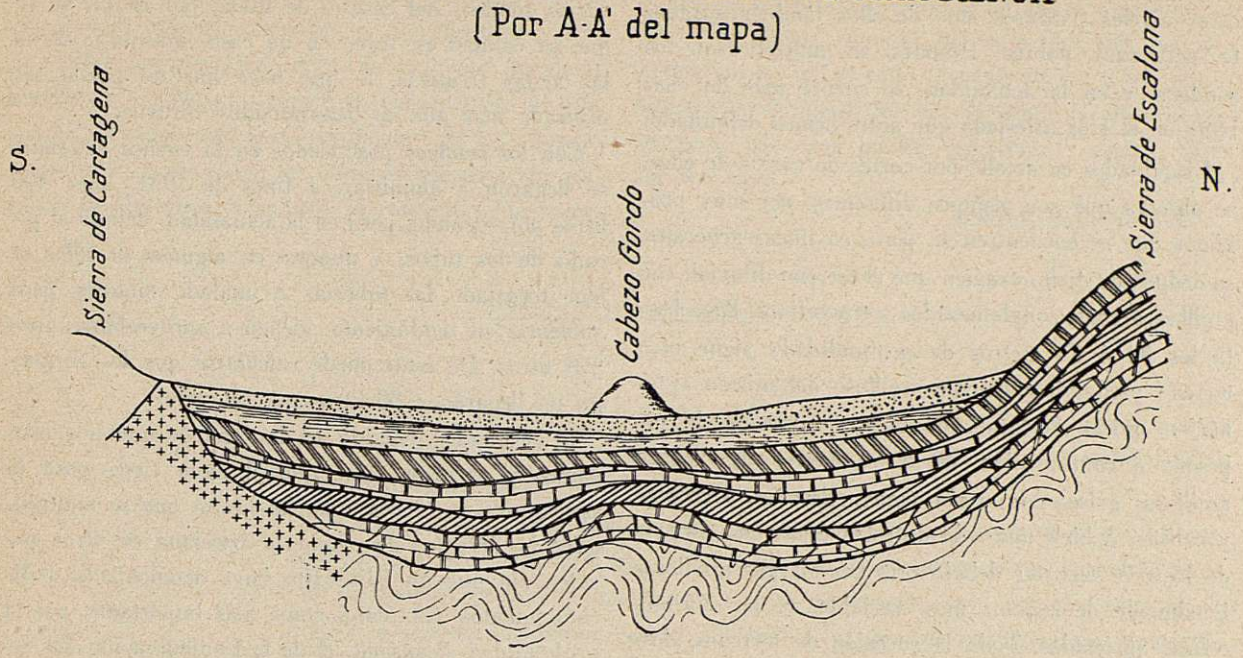
Del caudal total alumbrado por pozos y galerías en el Diluvial podemos formarnos idea teniendo en cuenta que serán unas 2.000 las hectáreas regadas, y, aún suponiendo que, por encontrarse las tierras inmediatas a los alumbramientos, cada litro por segundo de riego a dos hectáreas, aquella extensión corresponde a 1.000 litros de agua por segundo.

Mientras que las aguas del Diluvial, de que acabamos de ocuparnos, se extienden por toda la planicie del campo de Cartagena, las del Mioceno están concentradas en una zona inmediata al Mar Menor, sin que sondeos practicados en otros parajes hayan descubierto cuencas análogas, ni la hasta ahora reconocida se haya visto que rebase los límites que desde un principio se observó que tenía. La indicada zona artesiana se extiende en sentido Norte-Sur desde unos tres kilómetros al N. de San Pedro del Pinatar, hasta los Alcázares, y en el Oeste-Este, desde el cabezo Gordo hasta el Mar Menor, lo que hace un rectángulo de unos 13 kilómetros en el primer sentido y unos 6 en el segundo, o sean, unos 80 kilómetros cuadrados.

La existencia de esta cuenca artesiana fué ya predi-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CORTE DE LA CUENCA ARTESIANA DEL MAR MENOR
(Por A-A' del mapa)



EXPLICACIÓN

- *Rocas ígneas.*
- *Terreno de acarreo.*
- *Arcillas margas y calizas alteradas.*
- *Calizas y areniscas. 1er nivel artesiano. Ascendente.*
- *Margas arcillosas grises con o sin yesos.*
- *id arcillosas*
- *Calizas agrietadas. 2º nivel artesiano. Surgente.*
- *Keuper ?*

cha a mitad del siglo pasado por los Ingenieros de Minas Sres. Monasterio y Peñuelas, así como dentro del presente por los también ingenieros de la misma especialidad Sres. Villasante, Marín, Gorostízaga, Dupuy y Novo, algunos de los cuales realizaron estudios detallados. En 1921 se ejecutó en los Alcázares, con intervención del Instituto Geológico, un sondeo de 205 m. que, con tubería de 100 milímetros, alumbró unos 5 litros por segundo, surgente hasta 12 metros sobre el suelo, sondeo que quedó inutilizado al poco tiempo y que, a pesar del favorable resultado obtenido, no se intentó rehabilitar, así como tampoco se ejecutó ningún otro, por entonces, en aquella zona. En el verano de 1927, un terrateniente de San Javier perforó un sondeo en este término, junto al Mar Menor, y lo abandonó cuando alcanzó cierta profundidad, pero la casa sondeadora, conocedora del sondeo antes citado, continuó por su cuenta y cortó entre los 208 y 215 una caliza blanca resquebrajada de la que brotó un caudal de agua de 10 litros por segundo, surgente a 8

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

metros sobre la superficie. Antes se habían cortado otros niveles acuíferos, uno de ellos también surgente, pero muy pobres. Después, se multiplicaron los sondeos, y en la actualidad, se cuenta más de cuarenta en el área artesiana que antes hemos delimitado.

Examinados en detalle por cortes de varios de ellos, se observa que son siempre diferentes, por muy próximos que se encuentren si, pero, en líneas generales, se deduce de dicho examen que el terreno diluvial, con arcillas, arenas, conglomerados y travertinos, llega hasta los 30 ó 35 metros de profundidad; sigue otro terreno predominantemente arcilloso del mismo sistema, o quizás Plioceno, de unos 30 metros de espesor; a continuación, 40 ó 50 metros de margas arcillosas grises con o sin yesos; después, areniscas y calizas, o bien una sola de estas rocas con espesor de 15 a 70 metros; debajo otra vez margas arcillosas igualmente de espesor muy variable, y, por último, calizas agrietadas. Toda la sucesión de terrenos, desde los que pueden ser atribuídos al Plioceno, se incluyen en el Mioceno medio y superior. De las calizas agrietadas no ha pasado ningún taladro, a excepción de algunos emplazado en el extremo S., que ha llegado hasta las rocas ígneas conocidas en la sierra de Cartagena. Por los restantes rumbos no se sabe qué rocas formarán la base de la cuenca, aunque se supone que sea el piso superior del Triásico, a cuyos yesos pudiera ser debida la gran salinidad de las aguas artesianas. A lo expuesto corresponde el corte general que adjuntamos, de dirección N-S., en el que se aprecia, dentro de la cubeta, un anticlinal que corresponde al paralelo del Cabezo Gordo, asomo estrato cristalino que queda al O. de la cuenca.

Las aguas se presentan en dos niveles principales; uno, en la zona de areniscas y calizas, y el otro, en las calizas agrietadas inferiores; zonas que hemos visto se encuentran separadas por un tramo margoso impermeable, pero algunas veces el número de niveles cortado es mayor, y otras no aparece más que el inferior. Las aguas del nivel superior son frías, y sólo ascienden hasta quedar de uno a diez metros por bajo de la superficie. El inferior es termal y surgente, con salto, que en el primer sondeo, según antes hemos dicho, fué de ocho metros sobre el suelo y caudal de diez litros por segundo. La temperatura del agua a su emergencia es de 32 grados, y su análisis aparece en el cuadro correspondiente, practicado en uno de los varios sondeos del caserío de Roda, por el que se ve que su calidad es, salvo en un caso, inferior a la de las aguas freáticas, lo que hace que no pueda ser utilizada más que en determinados cultivos.

Con los sondeos practicados en la cuenca artesiana se llegaron a alumbrar, a fines de 1931, unos 400 litros por segundo, pero en la actualidad, debido al picado de los tubos, y aunque en algunos de ellos se han recortado las tuberías e intalado motores para aumentar su rendimiento, vienen a aprovecharse unos 250 litros. De éstos puede calcularse que los surgentes no llegarán a 80 litros por segundo.

El resultado obtenido en la zona de que nos ocupamos y el gran valor que el agua tiene para la agricultura en la comarca, ha hecho que se multipliquen los intentos de obtenerla artesiana en otros parajes, sin que un feliz éxito haya acompañado a dichos intentos. Citaremos como más importante, por la profundidad alcanzada, el de la Confederación del Segura en Torre Pacheco, que llegó, con 600 metros, a las rocas ígneas de la base de la cuenca por esa parte, y los ejecutados por cuenta del Estado y bajo la dirección del Instituto Geológico y Minero de España en el Albujón, de 680 metros, y en Corvera, de 500 metros, ninguno de los cuales salió del Terciario, probablemente Mioceno. Todos ellos dieron resultado negativo, excepto el último, que cortó a los 174 metros un nivel ascendente pobre, ya conocido por un sondeo anterior que practicó un particular.

* * *

En el aprovechamiento de las aguas subterráneas del campo de Cartagena, tanto freáticas como artesianas, se notan las deficiencias de la legislación actual, que dan motivo a que dicho aprovechamiento se verifique siempre de modo desordenado y muchas veces con perjuicios mutuos entre interesados próximos. Las deficiencias son debidas a que antes de la promulgación de la vigente Ley de Aguas no fué oído el Consejo de Minería ni ningún Centro Técnico de esta Rama de la Administración, y, por lo tanto, sus preceptos, en lo que se refiere a las subterráneas, no descansan en ningún fundamento científico. Como el caso de Cartagena se está presentando constantemente en todo el ámbito nacional, urge la reforma de la Ley,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y mejor aún, que se promulgue una nueva especial para aguas subterráneas, encargando su estudio a los Organismos oficiales competentes. En ella deben estar contenidos los preceptos necesarios para que los alumbramientos se hagan siempre en beneficio de la economía nacional mediante regulación de los aprovechamientos, y para que las obras se ejecuten sin perjuicio de derechos anteriores. A este efecto la riqueza hidráulica subterránea debe ser puesta bajo la acción de la Dirección General de Minas, igual que lo están las demás riquezas del subsuelo, sin que ello quiera decir que se reste libertad alguna a los profesionales, cualquiera que sea el título facultativo que ostenten, para que puedan proyectar y dirigir obras de esta clase.

Madrid, abril de 1950.

Antes de proceder a la discusión del anterior trabajo, el Presidente da cuenta de haberse presentado en el día anterior una enmienda subscrita por el Sr. Herrán y otros congresistas, que dice lo siguiente:

"Ayer, día 29. por la tarde, no estaba aún dispuesta para su examen por los congresistas, la Ponencia núm. 61, que se refiere a "Hidrología subterránea del campo de Cartagena", según me manifestaron en la Secretaría, pero, por el contenido del resumen insertado en el tomo de Resúmenes de Trabajos de este Congreso, ha podido deducir el que suscribe una idea del contenido de la Ponencia referida.

Nada tiene el que suscribe que objetar a la parte técnica y eminentemente ingenieril de dicha Ponencia, pero sí debe hacerlo respecto a las opiniones del ponente en cuanto a la Legislación, a la Jurisdicción y a la Asimilación de las Aguas subterráneas, a las demás riquezas del subsuelo.

No parece al firmante oportuno, ni conveniente, tratar esta cuestión, por lo demás, ya muchas veces debatida, en el II Congreso Nacional de Ingeniería. Esta cuestión no es técnica ni ingenieril y la discusión estimamos, debe, si se considera precisa, llevarse a cabo en otros lugares distintos de éste.

Ya hace algunos años se hizo en las Cortes Españolas, y allí sí era lugar pertinente, con motivo de la discusión sobre el capítulo 6.º del proyecto de la Ley de Minas entonces presentado para su aprobación, culminando entonces, por cierto, con la segregación de dicho capítulo 6.º, que trataba de las aguas subterráneas, de la Ley aprobada.

Solicitamos, por consiguiente, que, al aprobarse la Ponencia presentada por don Diego Templado sobre "Hidrología subterránea del campo de Cartagena", se suprima del cuerpo de la misma y de sus conclusiones todo lo relativo a lo referente a la Legislación, Jurisdicción y carácter de las aguas subterráneas.

El solicitar de la Sección que en las conclusiones provisionales que se eleven sobre esta Ponencia al Pleno del Congreso se suprima lo anteriormente indicado, no quiere decir que rehuya la discusión de este tema, sino que considera no oportuno al plantearla en este lugar.

No obstante, si la Sección no accediese a lo que solicitamos, tengo el honor de acompañar una segunda moción entrando en el fondo del asunto."

El Sr. Templado accede a la modificación solicitada por el Sr. Herrán.

Sobre el mismo asunto pide la palabra el Sr. Murcia, quien propone se prescinda en ella, de momento en todo lo relativo a modificación de la vigente legislación

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de Aguas subterráneas, de cuya urgente necesidad está también convencido, puesto que su discusión ordenada podrá hacerse en forma más concreta al leerse la comunicación que en tal sentido ha presentado el Excmo. Sr. D. Pedro de Novo.

Respecto de los importantes alumbramientos y puestas en riego llevados a cabo por los particulares en el campo de Cartagena, ruega al Sr. Templado que, al afirmar que el Estado nada ha hecho en tal sentido, no ignore que en buena proporción tales trabajos han disfrutado de los auxilios técnicos y económicos del Instituto Nacional de Colonización.

Le contesta el Sr. Templado, quien dice:

La Ley de Aguas, en lo que se refiere a las subterráneas, no es perfecta. Está anticuada, es deficiente, y, además, no tiene Reglamento, pues el R. D. de 1883, que algunos consideran que lo suple, no se dictó más que para un caso particular. No contiene ningún precepto que prohiba el despilfarro del agua alumbrada, y así se da el caso de que solavines que cuando se abrieran dieran grandes caudales, llegaran después hasta quedarse en seco, y, o se ha tenido que perforar pozos en busca de niveles más profundos que han de ser elevados mecánicamente, o bien alcanzar dichos niveles practicando nuevos socavones a cota inferior, con todo el gasto que ello representa. Lo mismo puede decirse de los sondeos artesianos. Nada prohibe que el agua esté saliendo en ellos continuamente, en perjuicio de la cuenca, que llega, a veces, a perder su artesianismo por dicha causa. No contiene tampoco la Ley preceptos técnicos que tengan por objeto el prevenir perjuicios de alumbramientos nuevos a los antiguos.

Por todas estas razones es por lo que procede que se legisle especialmente sobre aguas subterráneas, y como alguna Rama de la Administración tiene que ocuparse en la regulación de esta materia, parece lógico que dicha Rama sea la Dirección General de Minas, por tratarse de una riqueza del subsuelo.

Sobre la aclaración que solicita el Sr. Murcia, tengo el gusto de manifestar que al decir yo que el Estado no había hecho nada en materia de alumbramientos de agua en el campo de Cartagena, me refería a que no había ejecutado directamente ninguno de los que se aprovechan, pero no desconozco la eficaz labor que en aquella comarca realiza el Instituto Nacional de Colonización, auxiliando a los particulares que acometen dichas obras, auxilio, al que se debe, en gran parte, el asombroso desarrollo que el regadío ha tomado allí.

No obstante, si la Sección cree oportuno que se prescinda en este momento de entrar en el fondo del asunto sobre la parte sustantiva de la modificación de aguas, por su parte no ofrece ningún inconveniente, ya que, por otra parte, al discutirse otros trabajos sobre la misma cuestión, se tendrá ocasión de discutir este punto.

Tras las palabras del Sr. Templado, lee su autor el siguiente trabajo núm. 65:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.º 65. - El problema de la investigación y explotación del agua subterránea en España

Autor: D. PEDRO DE NOVO y FERNÁNDEZ CHICARRO
Ingeniero de Minas

Este trabajo que presento ahora al II Congreso Nacional de Ingeniería es réplica, ya que no copia, del presentado a la Superioridad en el último mes de septiembre, por orden de aquélla, y es concreción de estudios que abarcan más de un cuarto de siglo, realizados, principalmente, en compañía de mis colegas D. José de Gorostizaga y D. Fernando Benito (firmantes conmigo del expresado documento oficial) y resultado de las conclusiones a que nos han conducido tantos años de observación del terreno, de la climatología, de las obras de alumbramiento y de sus resultados.

He considerado oportuno presentar las síntesis de aquel plan, considerando que la publicidad lo beneficia, ya que, uno de los factores más precisos para esa realización, es el de que encuentre ambiente favorable en el país.

NECESIDAD DE QUE SE ACOMETA EL PLAN Y URGENCIA DE SU EJECUCIÓN

El Congreso, ante el que se presenta este trabajo, juzgó preciso que una de sus Secciones se refiriese al problema del aprovechamiento del agua. Aunque el título de la referida Sección es el de «Problemas que plantea la sequía y medios para disminuir sus efectos», en rigor, debiera ser «Máximo aprovechamiento del agua meteórica», o bien, «Economía hidráulica» u otro análogo, que diese más clara idea del fin que se persigue. En este trabajo que presento, me limito a exponer lo relativo a las subterráneas, tan ligadas con mi profesión, y que corresponden a la jurisdicción del Ramo de Minas.

Los varios años de extraordinaria sequía que padecemos destacan más la necesidad del aprovechamiento de toda el agua disponible, pero siempre, aun en períodos relativamente lluviosos, son escasas las precipitaciones atmosféricas en casi todo el territorio nacional.

Las aguas subterráneas llenan importantísima función, como complemento de las superficiales, allí donde éstas no alcanzan, las más de las veces, por razones topográficas. Mientras que los embalses superficiales producen notable caudal en pocos parajes, donde pueden regar grandes extensiones de terreno, los alumbramientos dan caudal pequeño, pero en muchísimos lu-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

gares, por lo que, bien organizados su investigación y aprovechamiento, pudieran sumar una masa anual de agua que representase una cuarta parte de la superficial aprovechable.

Si esta circunstancia es ya de por sí valiosísima, todavía la supera la de que, mediante alumbramientos, se consigue en muchos parajes agua potable y no contaminada por gérmenes patógenos, como es imprescindible para el abastecimiento de poblados; es decir, el caso que se presenta en centenares y aun millares de pueblos privados hoy de agua, al menos, en la cantidad y con las condiciones debidas.

Ligado íntimamente con tales alumbramientos está lo relativo a su protección y limpia y a un posible y prudente aumento, problemas hoy por completo desatendidos, y lo mismo puede decirse de los manantiales minero-medicinales.

Desde el punto de vista económico tiene también extraordinario alcance el alumbrar aguas en territorios hoy despoblados, precisamente porque carecen de ella. No se trata sólo del difícil problema de hallarla para transformar el secano en regadío (cosa, aunque no común, también posible con los alumbramientos, si bien, siempre en pequeña escala) sino en dar agua para que beban las personas y el ganado, en comarcas abandonadas desde hace siglos, en ese aspecto, porque en ellas las obras de alumbramiento no son fáciles para el labriego, pero pueden serlo para el Estado, que cuenta con técnica y con medios económicos.

La exagerada prudencia con que procuro atacar este aspecto de alumbramiento de aguas en cantidad aprovechable para el riego, no quiere decir que, en muchos casos, no se logre; siempre, como antes decía, por el sistema de «los muchos pocos». La experiencia nos dice que alcanzan buen éxito muy elevado tanto por ciento de las obras ejecutadas con ese fin, las cuales tienen, además, la ventaja de que exigen poco material y que, en cambio, requieren enorme número de jornales, los que pueden invertirse, precisamente, durante las épocas del año en las que se paralizan los trabajos agrícolas. En cuanto al rendimiento, no debe olvidarse que el terreno regado aumenta de valor en tal forma que, en algunas comarcas, llega hasta 40 veces el que tenía de secano.

De modo que las aguas subterráneas resuelven, por lo pronto, un vital problema sanitario, otro de posible colonización, y, en todos casos, los económico-social.

OBRAS DE PROTECCIÓN LIMPIA Y AMPLIACIÓN DE CAUDAL DE LOS MANANTIALES DEDICADOS A ABASTECIMIENTO DE POBLACIONES

Esta clase de obras es, no sólo interesantísima, sino urgente, ya que afecta, nada menos, que a la salud pública.

Es deplorable el estado en que aún se halla enorme proporción de las fuentes que abastecen a las poblaciones. Este abandono implica peligro gravísimo que precisa combatir sin pérdida de momento, lo cual puede hacerse con arreglo al siguiente plan.

Hay que señalar a cada fuente de abastecimiento un perímetro de protección dentro del cual no puedan existir viviendas, cabañas de ganado, ni nada que pueda contaminar las aguas. Asimismo, otro perímetro más amplio del que no puedan hacerse obras de alumbramiento que mermasen a las de la fuente pública.

Completamento natural del primer perímetro son obras, tales como tapias y zanjas, que aislen las fuentes e impidan que caigan en ellas tierras, piedras o cualquier otra materia peligrosa para la pureza del agua o para su libre manantío.

Conviene prudente limpieza o monda periódica de esos nacimientos, pues, con ella, en la mayoría de los casos, aumentaría el caudal de modo apreciable, y, a veces, en gran cantidad.

En lo que se refiere al mejor aprovechamiento de esos manantiales, sería muy eficaz complemento el establecer su aforo automático permanente que revelase el caudal, como testimonio para posibles litigios, y también para basar cálculos de mejor aprovechamiento.

Igualmente necesarios los análisis periódicos del agua para conocer su calidad y pureza. A la Dirección General de Sanidad corresponde dictaminar en algunos de los mencionados extremos.

En cuanto al proyecto, ejecución y conservación de obras de alumbramiento, limpia, aforo, etc., son funciones de la Dirección General de Minas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Lo dicho respecto de los manantiales de abastecimiento, se puede aplicar a los minero-medicinales, tomando en cuenta sus características propias.

NUEVOS ALUMBRAMIENTOS

El caso que suele presentarse al investigador de aguas subterráneas, es el procurar alumbramientos allí donde lo precise algún pueblo u otra entidad oficial, como aeropuerto, campo de aviación, etcétera, o el propietario de una finca; esta forma de atacar el problema es la de más difícil resolución, pero el que más a menudo se presenta. Puede afirmarse que no hay núcleo de población, grande o pequeño, cuya existencia no se deba a la proximidad de un río o de un manantial, pero no menos cierto que, en muchos casos, el pueblo ha crecido en manifiesta desproporción con el caudal de la fuente que lo abastece, y también ocurre a menudo que esa fuente ha mermado porque en sus alrededores se han hecho nuevos alumbramientos en condiciones indebidas, ya por incumplimiento de la Ley de Aguas, ya, con mucha mayor frecuencia, por los defectos de la misma, debidos a la antigüedad de aquélla (1879), tales como el que antes señalé de no hacer obligatorio el aforo de los manantiales, al menos, de los de uso público. Insisto en que el aforo oficial periódico y el automático permanente, son las únicas bases seguras de derecho.

Todo esto motiva el que tengamos muchos pueblos mal dotados de agua potable, y el que haya otros muchos que han tenido que conducirla desde fuentes muy lejanas, mediante larguísimas y costosas conducciones. Esto es, en sí, inevitable, porque en muchos casos el estudio geológico no descubre puntos favorables más próximos, pero hay otras muchas ocasiones en los que pudieran descubrirse.

De todos modos, pudiera intentarse siempre, excitando el celo de los Ayuntamientos con auxilios generosos y rápidos, primero desde el punto de vista informativo o, inmediatamente, desde el económico. El que los pueblos estén bien abastecidos de agua y disfruten de buena salud es siempre magnífico negocio para todo el país, y, por tanto, justifica los gastos que supongan estudios y obras, y también justifica la necesidad de modificar algunas disposiciones legales.

Dentro de este aspecto general que ahora examino, de nuevos alumbramientos, existe el particular, antes citado, de los territorios donde no hay núcleos de población y, a veces, ni siquiera fincas o cortijos, como queda dicho, por faltar agua aun para la bebida de pocas personas y de escaso ganado, y porque el propio territorio, por su pobreza, no cuenta con medios para que los propietarios se ocupen en la investigación de agua, nada fácil allí donde hay motivos para que durante siglos no se haya hallado.

Estos territorios son muy indicados para emprender en ellos el estudio de lugares donde fuera posible, bien alumbramientos por sondeo, bien por pozos provistos de motor, bien por socavones, si bien este último procedimiento rara vez será factible, pues la tradicional falta de agua en una comarca se debe muy a menudo a que el poco desnivel del suelo no permite obtenerla de pie, a no ser con socavones muy largos y costosos.

Este caso, que suponemos, es el común en las provincias extremeñas y limítrofes, en donde los pueblos suelen distar unos de otros más de veinte kilómetros, o sea, casi una jornada a pie o en caballería. A esta circunstancia obedece la existencia de los «latifundios» con los que muchas veces se ha querido acabar valiéndose tan sólo de preceptos legales, lo que siempre condujo al fracaso, porque ese problema agrario-social que supone el latifundio, existe, precisamente, porque la carencia de agua hace imposibles, no ya los minifundios, sino los repartos más equitativos que los actuales que persiguen las instituciones colonizadoras.

Entre los grandes males que derivan de la existencia de tales latifundios, uno es el obvio del desigual pero forzoso reparto de tierras y su imperfecto cultivo, y otro, también muy grave, la enorme distancia que ha de recorrer cada día el labriego, habitante de pueblos tan apartados, para ir a su labor y volver de ella, a no ser que opte por dormir en chozas en medio del campo con gran peligro para su salud, pues que, por triste paradoja, a menudo, esos terrenos, demasiados secos para que de ellos se extraiga agua de riego o siquiera para la bebida, son pantanosos y palúdicos en las épocas del año en que se hace precisa la labor.

Todo ello acarrea, pues, falta de población, de ri-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

queza, de justicia social y de salud, y todo ello impone la necesidad de aumentar los puntos de aguada.

Acaso se me objetará que, si en tantos siglos no se ha hallado agua en esos terrietorios, será porque no lo permitan las condiciones del suelo, pero a ésto cabe contraponer que, si no en todas esas partes, sí en muchas donde las condiciones geológicas son buenas, si no se ha encontrado agua hasta ahora ha sido por las dificultades que resultaban insuperables para los limitados conocimientos y medios del labriego y aun del labrador acodomado; porque, faltó la dirección técnica, y, sobre todo, como causa primera, porque no se sintió la necesidad apremiante, ya que la vida general del país no permitía, ni menos imponía, como hoy, el máximo esfuerzo para su desarrollo.

El actual adelanto de nuestro mapa geológico hace ahora relativamente fácil el ir señalando esos aguajes nuevos, que, allí donde se hallarán, habrían de ofrecerse al Instituto Nacional de Colonización, para que esta entidad juzgue, si, al precio que costase alumbrar el agua descubierta y, dada su cantidad, permitiría o no su aprovechamiento para fundar allí granja, cortijo o aldea, según los casos.

En lo relativo a costo del agua no puede callarse que la topografía de los terrenos del tipo que ahora examinamos suponen la frecuente necesidad de socavones muy largos o de elevar el agua mecánicamente; en cuanto a los pozos artesianos, deben considerarse como caso particular y posibles solamente en pocas comarcas.

SONDEOS ARTESIANOS PROFUNDOS

Desde hace relativamente pocos años se ha generalizado la perforación de pozos artesianos en algunas provincias; sobre todo en las de Valencia, Murcia, Valladolid, León y Palencia; pero los sondeos hasta ahora realizados no pasan de los 200 ó 300 metros de hondura. Ahora no nos ocuparemos en ellos, por considerar que ya los acomete la iniciativa privada, con muy afortunado asesoramiento del Instituto Geológico y Minero.

En un plan de carácter nacional sólo procede exponer lo relativo a sondeos profundos, cuyo costo y riesgos ha de acometer el Estado o una gran compañía que a ello se dedicase.

Llamamos sondeos profundos a los que alcanzan de 1.500 a 2.000 metros de hondura y que exigen, por su difícil técnica, el que en los primeros años se contratara su perforación con alguna casa norteamericana, o bien, el adquirir uno o varios equipos de sonda, y siempre sobre la base de contratar al principio el personal, y que luego se fuera aprovechando la enseñanza de las perforaciones hechas durante varios años para ir formando personal español de sondeadores en todos sus grados, de técnico y de obrero. También obliga a que los ejecute el Estado su elevadísimo coste, que, para los sondeos no muy anchos que permite la busca del agua artesiana (mucho más estrechos que los de petróleo) supone, por lo menos, unas mil quinientas pesetas por metro lineal de profundidad.

No obstante lo elevado del coste, juzgamos reproductiva su ejecución, pues podrían descubrir potentes mantos artesianos, y, aparte resolver problemas de tipo científico, que acaso revelasen otros tan interesantes como el de hallar facies geológicas apropiadas para depósitos petrolíferos.

Los grandes sondeos artesianos habrían de acometerse en las extensas manchas miocenas y, especialmente, en las de mioceno continental, que tanto espacio ocupan en España, las cuales encierran en muchos sitios varios niveles permeables entre otros impermeables; disposición que origina mantos acuíferos cautivos a distintas profundidades.

Muy a menudo el mioceno está cubierto por el pleistoceno, en cualquiera de sus dos fases, diluvial y aluvial, y allí será preciso emboquillar la perforación, pero con la mira de buscar el agua en el terciario continental, depositado en grandes cuencas cuyos fondos no conocemos en cada sitio, pero que sabemos están compuestos por los pisos inferiores del neozoico (eoceno y oligoceno), por el mesozoico, el paleozoico, el arcaico, y aun por rocas graníticas, a juzgar por la diversidad de afloramientos en los bordes de aquellas cuencas miocenas.

Los últimos subsuelos citados, a saber, paleozoico, arcaico y granito, como impermeables, no dejan otra esperanza de agua artesiana de la que se hallara en la del terciario superpuesto, pero, cuando el fondo de la cuenca terciaria sea mesozoico (y aun el eoceno, en algunos lugares), contendrá en gran proporción rocas calizas agrietadas y, por tanto, permeables y muy pro-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

pias para infiltrar el agua meteórica y conducirla luego bajo la inmediata y superpuesta formación miocena. Mucho más cuando, como suele ocurrir, esos terrenos calizos forman sierras elevadas en el borde de aquellas cuencas.

En muchas regiones de las que luego enumeraremos y, sobre todo, en los bordes occidentales de la cuenca del Ebro y en el oriental de la del Duero o de Castilla la Vieja, el conjunto, muy calizo, del cretáceo y del jurásico, queda limitado, tanto inferiormente (si se atiende a lo conocido de la estratigrafía) como lateralmente (si nos fijamos en los afloramientos), por el Keuper o nivel superior del trías, el cual, como salífero y yesoso, y, por tanto, muy plástico, produce las intrusiones llamadas pliegues diapiros, que suelen alcanzar hasta la superficie del suelo que forma el cretáceo, inyectándose a través de este terreno, y antes a través del trías y del jurásico, y, muy a menudo, con acompañamiento de ofitas; disposición que tiene grande importancia en lo que se refiere a la marcha general del agua subterránea, porque nos da un nivel de impermeable inferior. (Diré de paso que esa situación y esa condición del trías tienen aún mayor influencia en la disposición de posibles depósitos petrolíferos.)

Ahora bien, la absoluta ignorancia en que nos hallamos acerca de la clase de terrenos que pueden existir a la enorme profundidad que corresponde a los fondos de las partes centrales de esas cuencas miocenas, motiva que huyamos de proponer allí sondeos profundos y que escojamos únicamente las zonas marginales, o sea, las que, si bien dentro de la cuenca, están cercanas a sus bordes, allí donde la proximidad de los afloramientos de los terrenos infrapuestos al mioceno hace que sea menos azaroso el vaticinio de los que puede encontrar una perforación.

Con arreglo a este criterio estimo comarcas propias para sondeos profundos las zonas marginales de las cuencas miocenas del *Ebro*, de *Castilla la Vieja* y *Castilla la Nueva* y de la mancha comprendida entre *Albacete*, *Murcia* y *Alicante*.

En *Castilla la Vieja*, debe prescindirse de los bordes del Oeste y del Sudoeste, porque allí cerca afloran sólo terrenos primarios, arcaicos y graníticos. En cambio, se prestan para la perforación, en el borde Norte de la cuenca general, las comarcas de La Bañeza, Astorga, León y Villalba de Guardo, que tienen al Norte la gran mole caliza (la mayoría de «caliza de montaña» de la base del carbonífero), que comienza en las sierras de Ponferrada y de Astorga y termina en los Picos de Europa.

En los bordes de Levante y de Mediodía convendría sondear en las comarcas de Villadiego, Burgos, Lerma, Aranda de Duero, Peñafiel y Cuéllar, como ceñidas hacia el Este por las formaciones calizas permeables del secundario del Sistema Ibérico, en las que se abre un estrecho geológico por Burgos y Briviesca, que acaso permita que hacia Castilla deriven aguas subterráneas de la cuenca del Ebro. También merece atención, más al Sur, un golfo mioceno entre El Burgo de Osma y Ariza, en que deben converger aguas subterráneas del Sistema Ibérico y del Central, que entroncan en Ariza.

En *Castilla la Nueva* hay que prescindir también de los bordes Noroeste, Oeste y Sudoeste, cerca de los cuales afloran sólo el granito o formaciones arcaicas y primarias, y fijar la atención en los bordes del Nordeste, Este y Sudeste, entre los que se alzan las formaciones calizas permeables, especialmente las abundantes y potentes del jurásico. Mas, procede advertir que en la mitad septentrional de la cuenca el terreno presenta extraordinario espesor (como se advirtió al perforar el sondeo de Alcalá de Henares), de modo que conviene fijarla en el extremo Sudeste de la mancha miocena (que lo es también de La Mancha geográfica), o sea, en el territorio que limitan los pueblos de Belmonte, Motilla del Palancar, Casas Ibáñez, Albacete y San Clemente, y que abarca unos 3.000 kilómetros cuadrados.

También presenta interés una cuenca, adjunta a la anterior, que se extiende entre las provincias de *Albacete*, *Murcia* y *Alicante*, al Sur de la ciudad de Albacete y de la sierra de Chinchilla, hasta Yecla, Hellín y Villena; comarca en la que se encuentran muchos territorios llanos, cuya superficie forman mioceno y pleistoceno, comprendidos entre una serie de serrijones cretáceos y jurásicos, pertenecientes a derrames de la Cordillera Penibética. Conviene mucho averiguar si el agua recogida en esos serrijones calizos y embalsada en los llanos miocenos y cuaternarios, se halla a suficiente presión para que surja mediante perforaciones artesianas profundas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

MEDIOS PARA DISMINUIR LA ACTUAL PÉRDIDA SUBMARINA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea no se pierde definitivamente en grandes huecos o simas, pues se oponen a su descenso vertical indefinido las crecientes, compacidad y temperatura de las rocas profundas. El agua subterránea sólo se pierde por hidratación de las rocas; proceso importante, pero tan lento, que, si bien de interés científico, no hay para qué considerarlo en problemas de alumbramiento.

En cambio, sí hay que tener muy en cuenta la pérdida del agua subterránea debida a su movimiento lateral hacia los puntos más bajos del terreno, y, en definitiva, hacia las cuencas oceánicas; marcha lentísima, pero efectiva, que acaba por conducir el agua a perderse submarinamente.

Esta pérdida submarina se verifica de dos modos: por mantos libres más o menos superficiales, y por mantos cautivos, más o menos profundos. Según se trate del primer caso o del segundo, puede intentarse la disminución de esa pérdida submarina con pozos costeros poco profundos o con sondeos de tipo artesiano en el fondo de los pozos ya existentes.

a) POZOS COSTEROS DE POCA PROFUNDIDAD

La pérdida submarina del agua subterránea poco profunda y en manto libre, conviene y es posible aminorarla en cuencas hidráulicas subterráneas litorales como las de Castellón, Valencia y Alicante (y, con menos intensidad y con diversas condiciones, en Tarragona, por el Norte, y en Murcia y Almería, por el Sur). Las más de esas comarcas reciben el agua, en grandísima parte, de los terrenos cretáceos y jurásicos, que, como calizos y cavernosos, suelen ser permeables, y componen las sierras de Teruel, Cuenca y Alicante, el subsuelo de La Mancha y el borde de la Meseta por aquella parte. El agua caída en esas tierras y altimesetas se infiltra en los mencionados terrenos calizos, y luego se detiene, ya en el trías, cuyas rocas son o actúan como impermeables, ya en las formaciones primarias, que tienen la misma condición de impermeabilidad.

Toda esa agua es la que, en el trayecto de las sierras a la costa, va alimentando fuentes y regularizando ríos, y la que, en último extremo, se pierde submarinamente en la costa, bien de modo directo, si aquélla es acantilada, bien luego de embalsarse en las planas costeras formadas por elementos sueltos de tipo aluvial o diluvial.

Ejemplo extremo de ese último caso, la Huerta de Valencia, donde hemos podido realizar el cálculo numérico (claro, que sólo aproximado) del agua subterránea que allí se pierde submarinamente. Para ese cálculo partimos de datos conocidos, como es el número de pozos con motor que actúan cada año, el crecimiento de ese número durante un período de años también conocido, y el, no menos sabido, descenso del nivel subterráneo del agua en el país, en el mismo tiempo, y que se debe al creciente desagüe.

Detener el agua subterránea antes de que se pierda en el mar, es problema muy difícil en los cantiles que forman los cabos, pero relativamente fácil en donde constituye la orilla una plana costera, porque allí el embalsamiento del agua retrasa la pérdida submarina.

Por tales motivos, para proponer las primeras obras, nos hemos fijado en esa clase de litoral y, de modo inmediato, en el comprendido entre la desembocadura del Júcar y la del Serpis (incluyendo parte de la cuenca del último río, donde acuden las aguas de la Sierra Grossa y de las de Monduver, Mariola y Agullent-Benicadell).

Allí, en el contacto de las rocas calizas secundarias con los depósitos costeros, procede hacer pozos ordinarios que recojan gran parte de ese agua que ahora se pierde en el mar, lo que, además, tendría la ventaja de que el descenso del nivel hidráulico subterráneo local, en la plana costera, motivado por el desagüe en los pozos propuestos, sanearía aquellos terrenos pantanosos, que quedarían en buenas condiciones de cultivo.

(Aunque ya conocemos, de modo más o menos particular u oficioso, el criterio favorable a este proyecto de varios ingenieros agrónomos, creemos que la ejecución de este aspecto del presente Plan exige conocer el dictamen oficial del Servicio Agronómico.)

Como queda dicho, también podrían situarse pozos, en igual forma, en la parte septentrional de la plana costera de Castellón (cuenca del río Mijares, por donde acuden las aguas subterráneas del Maestrazgo), en las de Sagunto (correspondientes a la cuenca del Palancia), en las del Turia, en las de la Albufera de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Valencia y, asimismo, cabe escoger (dentro de sus mayores dificultades) algunos parajes costeros análogos, en Alicante, Murcia y Almería.

De acuerdo con el Servicio de Obras Públicas, el agua así extraída se podría sumar, para mejor aprovechamiento del gasto que suponga su canalización, a la que afluye a la desembocadura de los ríos, procedente de los rezumos de los riegos en las huertas costeras (y que, en la desembocadura del Júcar, se calcula en seis metros cúbicos por segundo).

b) PERFORACIONES PARA CAPTAR AGUAS CAUTIVAS, QUE HOY SE PIERDEN SUBMARINAMENTE, EN TERRITORIOS EXPLOTADOS HASTA AHORA SOLAMENTE CON POZOS ORDINARIOS

Como antes recordamos, la Huerta de Valencia es el tipo de las comarcas españolas en donde se extrae el agua en mayor cantidad por medio de pozos ordinarios dotados con motor de desagüe y, por tanto, como caso típico y bien conocido, a la Huerta Valenciana nos referimos para mejor inteligencia de este punto del Plan Nacional de Obras de Alumbramiento.

Es práctica seguida ya por algunos propietarios de tales pozos, el hacer perforaciones artesianas en su fondo, con objeto de captar los mantos cautivos profundos. Al hacerlo así, denotan el certero instinto, producto de constante observación, que adquiere quien está obsesionado por un problema vital para él.

En efecto, en la Huerta Valenciana (y en otras comarcas análogas geológicamente) existen, bajo el agua subterránea más superficial, de manto libre, que alcanza hasta unos 30 metros de hondura y que se extrae con motor, otros niveles profundos *cautivos* y, en consecuencia, a presión, cuya agua procede de las sierras cercanas y que luego se introduce en paquetes de rocas permeables encerradas entre otras que lo son menos y pertenecientes todas a los terrenos modernos que componen los llanos costeros. Alcanzados con la sonda esos niveles profundos, el agua cautiva asciende y, a veces, surge; es una de las clases del agua llamada *artesiana.*

Nuestro plan consiste en intensificar y completar ese sistema empírico de los huertanos y establecerlo allí donde aún no se practica, con lo cual se enriquecería extraordinariamente cada cuenca, sin mengua del agua más somera (cuyo agotamiento es amenaza ya grave en Valencia), y, en cambio, se aprovecharían esos niveles cautivos hondos que se pierden ahora submarinamente en la costa.

Es posible realizar esta parte del plan en las llanuras cuartarias donde abundan los pozos ordinarios. Por tanto, consideramos sólo esa clase de terreno en las desembocaduras de los ríos o relacionados con ellas, en las costas oriental y meridional de España, cuales son las de los ríos Muga y Fluviá, Ter, Tordera, Besós y Llobregat, Gallo y Francolí, Ebro, Mijares, Palancia, Turia, Júcar, Serpis, Segura, Almanzora, Nacimiento, Adra y Guadalfeo, Guadalhorce, Guadalete, Guadalquivir, Tinto y Odiel.

ESTUDIOS ANEJOS

Es evidente que, en general, las obras propuestas en este plan no pueden acometerse sin estudio previo detallado de cada caso particular, si bien algunos están muy adelantados por su pronta ejecución.

Los básicos, y puede decirse que su inmensa mayoría, están ya realizados por el Instituto Geológico y Minero, y, de no ser así, imposible haber redactado el presente Plan. Entre los estudios todavía sólo esbozados, se cuenta la organización para establecer el aforo perpetuo de manantiales y la comparación de sus caudales con las lluvias regionales y locales, a fin de deducir la influencia mutua entre fuentes y cuencas de recepción, lo que ha comenzado ya a hacer dicho Instituto, de acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional.

Entre los estudios ya muy avanzados se cuenta la estadística de manantiales y alumbramientos en toda España, con sus caudales máximos, medios y mínimos. De ellos existen ya varias decenas de millares de fichas. De estos datos, relacionados con las condiciones geológicas de cada paraje, pueden deducirse muy interesantes consecuencias de orden práctico.

Como se ve, lo que ahora se propone es complementar e intensificar esos estudios, ubicar las labores de alumbramiento, levantar los planos de las mismas y de las fuentes naturales, analizar las aguas, en suma, lo que realiza ya el Instituto Geológico y Minero, pero con el desarrollo que le permitiera el disponer de consignaciones suficientes y de las necesarias disposiciones legales.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

RESUMEN

El desarrollo de este plan descubriría riqueza muy superior a la que se espera, pero mucho mayores e inapreciables son los beneficios que supone poner en condiciones higiénicas las fuentes de abastecimiento de poblaciones.

Madrid, marzo de 1950.

Después de su lectura y de una breve intervención del Sr. Herrán Rucabado, el Secretario expone el resumen del siguiente trabajo núm. 297, *cuyo autor no se encuentra en la Sala.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.° 297. - Embalses subterráneos

Autor: D. MANUEL VIDAL PARDAL
Ingeniero de Caminos

De la importancia que tienen los embalses subterráneos nos podemos dar idea considerando los caudales que se mantienen en muchos cursos de agua, incluso después de largas épocas de sequía, y que no están abastecidos por aguas procedentes de la fusión de las nieves.

Esos embalses subterráneos formados en el seno de los terrenos sirven de depósitos reguladores de las corrientes fluviales, proporcionando provechos enormes que, a veces por ocultos, no se aprecian en su verdadero valor.

Es indudable, sin embargo, que esa regulación natural debe venir acompañada de la que proporcionan los pantanos construídos por la mano del hombre, pues aquélla nos la ofrece la Naturaleza. Pero no por eso es menos importante y decisiva la regulación que proporcionan aquellos embalses, y sin la cual, el número y capacidad de los superficiales que haya que construir sería de muchísima mayor importancia.

Pero es que, además de los muchos pantanos naturales formados en las entrañas de la tierra y que presentan espontáneamente una cierta regulación, existen otros que están, como si dijéramos, sin explotar, y a los cuales sería posible hacer entrar en funcionamiento con obras de coste reducido. También a aquéllos, en muchos casos, sería posible hacerles mejorar sus condiciones naturales en circunstancias económicas ventajosas.

En efecto: existen depósitos formados en terrenos permeables que, por alojarse en cubetas o depresiones en terrenos impermeables, no tienen desagües, o si los tienen, resultan lo suficientemente superficiales para que sus condiciones de capacidad no se aprovechen en la forma en que sería posible. El examen geológico indicaría, en cada caso, las posibilidades de aprovechamiento o mejora.

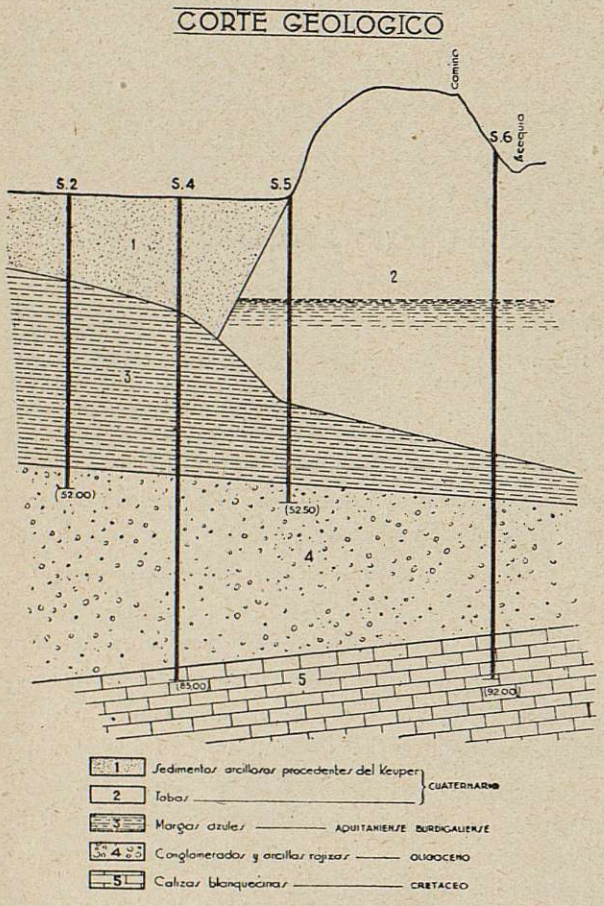
Como ejemplo curioso de embalse subterráneo en terreno permeable, podemos citar el recientemente localizado mediante estudio geológico y sondeos practicados para el proyecto de un pantano. Se trata de una enorme masa de toba, cuya formación proviene de los depósitos hechos por las aguas, muy cargadas de cal, de un manantial próximo, que procede de calizas cretáceas. Esa masa tobácea, que supera la profundidad de 65 m., descansa sobre una capa de margas azules que pertenecen a lo que Suess denomina «primer

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

piso mediterráneo», a sea, al aquitaniense y burdigaliense.

La permanencia del agua en los diversos sondeos realizados, nos marcó el nivel freático, coincidente, como es lógico, con el nivel del río que, bordeando las tobas y con su cauce labrado en las citadas margas terciarias, sirve de aliviadero superficial al embalse así formado.

La profundidad media de la masa de toba aprovechable como vaso, o sea, la que queda por bajo del



nivel freático, la valoramos en 30 m., que, con la extensión superficial de unas 350 Ha., y suponiendo, prudentemente, un tanto por ciento de huecos en las tobas de un 20, resulta una capacidad de embalse natural subterráneo del orden de los 20 millones de metros cúbicos. El pantano que se estudia y cuyo objeto es el riego de unas 1.200 Ha., embalsaría unos 13 millones de metros cúbicos; como se ve, bastante menor del que nos brinda la Naturaleza. Su alimentación es la misma que la que se pensaba aprovechar para el pantano en proyecto.

En los cortes dibujados se observa cómo se ha confirmado con los sondeos la existencia del depósito subterráneo que el estudio geológico previo hizo sospechar.

El problema que se plantea para aprovechamiento del pantano infrayacente es, primordialmente, de orden topográfico, pues el túnel de desagüe —provisto de las necesarias compuertas— que sería preciso para utilización de dicho embalse, tendría que tener una longitud tal, que su construcción no hiciese prohibitiva, desde el punto de vista económico, la citada solución. La longitud, a su vez, viene impuesta por la cota de las tierras que convenga regar, dependiente de la cota de toma del desagüe.

Otras veces en terrenos impermeables, pero agrietados, por donde el agua, penetrando y precipitándose por sus fracturas, da lugar a cursos de agua subterráneos que por la erosión mecánica —a veces, acompañada de acción química— van engendrando galerías y cavernas, y formando lagos subterráneos. Estos depósitos acuíferos internos tienen, a veces, salida al exterior por conductos que, en ocasiones, por actuar como sifones, dan origen a los manantiales intermitentes.

También en este caso la Naturaleza nos brinda la regulación que proporcionan esos depósitos de agua, formados en el interior de la tierra, en forma de lagos y cavernas. Además, es conveniente subrayar que, por ser más abundantes en España los terrenos formados por calizas, es en éstos donde tendría verdadera importancia el estudio del aprovechamiento de sus posibles embalses naturales.

La caliza, que, como tal roca, presenta, en general, buenas condiciones de impermeabilidad, es terreno del que se huye en el vaso de los pantanos, precisamente por las muchas grietas, oquedades, galerías y cavernas que suelen presentarse en su seno, y requiriendo, cuando la presa se sitúa en ella, estudios y reconocimientos que, a veces, aconsejan la corrección de su permeabilidad, mediante inyecciones; técnica hoy día muy perfeccionada y que ha proporcionado resultados prácticos muy satisfactorios.

Nosotros hemos tenido ocasión de descubrir unas

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

galerías formadas por antiguos cursos de agua subterráneos en terreno calizo, con motivo de la perforación de un túnel de 3.400 m. de largo para los Canales del Taibilla. En la actualidad, esas galerías subterráneas están en seco, pero su formación no ha podido ser otra que la acción del paso del agua, en cantidad apreciable, dadas sus dimensiones, tanto en sección como en desarrollo, con muchas y complicadas ramificaciones y ensanchamientos a niveles muy variados. Para recorrer este antiguo cauce subterráneo había que recurrir a ir dejando señales que sirviesen de guía para el retorno; tal era la complicación de su trazado, del que no conseguimos descubrir ninguna comunicación visible con el exterior. La gran profusión de estalactitas y estalagmitas proporcionaba a las galerías y cavernas fantástico aspecto, si bien dificultaban, a veces, su exploración.

La descripción de estas galerías y cavernas muy bien pudiéramos hacerla sirviéndonos de inspirada pluma del siglo precedente, que se expresaba así al relatar otras análogas:

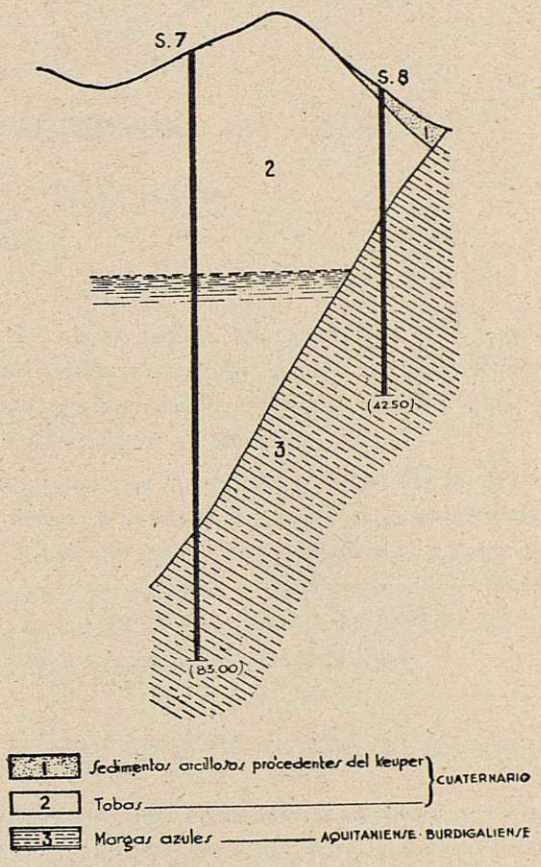
«Las dificultades del terreno nos hacían bajar unas veces, subir otras, y ciertamente no puede darse más sombrío espectáculo ni más fantástica escena... Grandes fragmentos calizos alfombraban el suelo en espantoso desorden, y al dudoso vislumbre de las hachas veíamos colgar del techo masas imponentes que parecían oscilar y que estaban acaso próximas a desplomarse. Enormes pirámides de roca se elevaban a nuestro lado; gigantescas peñas nos recibían en su lomo, y de vez en cuando agujeros inmensos, antros profundísimos, se abrían a nuestros pasos cual bocas de monstruos dispuestos a tragarnos. Encendimos una luz blanca, y todas aquellas rocas monstruosas se rejuvenecían al sentir acariciados sus perfiles por la luz; y así que brotaron del caos en que habían estado sumidas por siglos de siglos, parecían mirarse con espanto. asombradas de verse unas a otras vestidas de aquella deformidad que les era ignorada porque jamás habían salido de las tinieblas.»

«Espacio tuvimos entonces para hacernos cargo del sitio donde nos hallábamos.»

«Vimos, por una parte, bóvedas atrevidas lanzándose audaces por los aires; naves a las que servían de clave peñascos enormes; columnas trabajadas y que, sin embargo, jamás el cincel había mordido; pirámides de rocas como enclavadas en armellas de granitos, y peñas elaboradas por el agua, remedando figuras, cuyos músculos de piedra parecían retorcerse en desesperados esfuerzos para sostener la carga de alcides que sobre sus hombros gravitaba.»

«Y vimos, por otra parte, unas cosas ruinas de una gran metrópoli, donde parecía por casualidad haber quedado en pie algún obelisco de afiligranada punta

CORTE GEOLÓGICO



o alguna torre coronada de almenas, y todo esto iluminado por el fuego de bengala con una luz blanca, transparente, dulce, suave, acariciadora como la de la luna.»

«¡Era magnífico; un espléndido, un soberbio panorama!»

Y más adelante continuaba:

«Mirábamos esta gruta sin jamás cansarnos de ad-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mirarla. Ocurriósele no sé a quién encender, sin decirnos nada, un rojo fuego de bengala. Renuncio a pintar el efecto. Se necesitaría una pluma mejor que la mía. Era aquello un sueño de artista, un cuento de Scheherazada, un boceto de catedral dibujándose a nuestros ojos atónitos con sus perfiles vírgenes, sus teorías de labores y sus utopías de relieves y filigranas. Era de un efecto mágico, deslumbrador, portentoso.»

Luego de la lectura del resumen de este trabajo, hecha por el Secretario, y por lo avanzado de la hora, se interrumpe la sesión a las catorce horas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

ACTA DE LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 31 DE MAYO DE 1950
(Continuación.)

Como continuación de las sesiones celebradas los días anteriores por la Sección, se prosigue la labor el día indicado, abriéndose la sesión a las diez de la mañana, actuando como Presidente el Sr. Castells, y como Secretario el Sr. Almela.

Lee el Sr. Balzola el siguiente trabajo:

N.º 104. - La minería del antimonio en España

Autor: D. JOSÉ BALZOLA MENCHACA
Ingeniero de Minas

1. ANTIMONIO

Es uno de los metales que, sin aplicación propia aisladamente, es esencial para la formación de aleaciones de toda clase. Tiene la misma estructura que el arsénico y el bismuto.

El metal es blanco azulado, sumamente frágil, con punto de fusión de 630, dureza de 3 a 3,5 y peso específico de 6,7 a 6,8.

Los minerales más interesantes son la cervantita y la senarmontita en su forma oxidada, pero, principalmente, la estibina, mineral sulfurado gris, plomizo, muy blando, untuoso, que se presenta en forma cristalina oblonga con aspecto muy brillante. Tiene la propiedad de fundirse a muy baja temperatura al calor de una bujía, condición que se emplea, como luego diremos, para la preparación del mismo.

1.1. Los criaderos de antimonio son, en general, de formación epitérmica, probablemente secuela final de las venidas magmáticas y casi siempre en conexión con rocas ígneas. Entre el grupo de metales de precipitación en estas venidas magmáticas se encuentran el cinabrio, la pirita, el arsénico y el bismuto.

Generalmente, las rocas volcánicas en conexión con este criadero son modernas y, muy probablemente en España, según nuestra impresión, una gran mayoría de los criaderos están en relación con el movimiento alpino, que también, como norma general, hace que las metalizaciones no sean muy intensas.

Sobre todo, en la zona del siluriano del Sur y Oeste los filones se presentan en forma perfectamente clara, con bandas de sulfuro bien cristalizadas, y después de una serie de pequeñas partículas que mineralizan la roca de la caja o las diaclasas de los hastiales del filón, formando una especie de «stock works».

2. YACIMIENTOS DE ANTIMONIO EN ESPAÑA

Se presenta muy profusamente este metal en España.

En Zamora lo encontramos en Losacio, con servantita y senarmontita, principalmente.

En Orense, en varias localidades, sin que a nuestro conocimiento se haya hecho ninguna minería importante.

En Lugo, en Cervantes y Tineo, y, sobre todo, en Villarbacú. En esta última localidad se efectuó una laboreo bastante intenso a principios del siglo. Posteriormente, en la guerra del 14 al 18, y se reanudó el año 1937 con una instalación de flotación, que, según

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la Estadística Minera, en los momentos actuales está inactiva. En este lugar se presenta el antimonio en el contacto de una pizarra con caliza, con mineralización irregular, pero bastante intensa. Se puede considerar como uno de los criaderos de España de grandes posibilidades.

En Castilla y Andalucía, si iniciamos en pizarras del siluriano de Almuradiel, Viso del Marqués, Santa Cruz de Mudela, Torrenueva, y continuamos hacia Portugal por Anchuras, para luego bajar a Castuera y hasta Santa Eufemia por Andújar, vemos que a lo largo de esta curva encontramos manifestaciones de antimonio sumamente interesantes.

A mi juicio, las que pueden tener mayor probabilidad son aquellas que se hallan en las cercanías de una roca volcánica ácida, que se suele presentar a unos centenares de metros de los filones, en forma esporádica.

En Almuradiel vemos varios filones perfectamente claros que arman en cuarcita o en pizarra con potencia de 50 cm. a 4 m., orientados todos ellos paralelamente con relleno de cuarcita triturada y con mineralización que se presenta en una banda de sulfuro en algunas de las salbandas por el centro del filón y una mineralización diseminada rellenando la caja de la misma y muchas veces pasando por las diaclasas de la cuarcita, adentrándose en la masa de pizarra, realmente como si fuese una salpicadura de la estibina fundida.

En Torrenueva, en pizarras había unos filones geológicamente perfectos en dirección Norte a Sur casi verticales que llevaban una mineralización de una estibina gris de estructura muy fina, que, desgraciadamente, no tuvo importancia, por tener una metalización reducida sumamente pequeña.

En la investigación efectuada en Puebla de Alcocer, cerca de Cabeza de Buey, también armando en pizarra, se efectuó una investigación que también, desgraciadamente, demostró la irregularidad de la metalización. En este punto los filones era más bien interestratificados.

En la provincia de Gerona hay una serie de filones en el valle de Rivas, asociados con plomo, que se han explotado y se explotan periódicamente. También se hallan en el primario.

Son sumamente interesantes las manifestaciones de antimonio de León. Tienen el inconveniente de tener generalmente una gran cantidad de arsénico. Se presenta en las margas y las calizas del cretáceo, unas veces con metalización en bandas, pero las más en granos muy pequeños llenando la caja del filón. Estas minas estuvieron en marcha en los años 1914 a 1918, e incluso se estableció una fundición muy interesante, pero posteriormente no sabemos de ningún intento nuevo de ponerlas en marcha.

Y, por último, no conviene dejar de citar el interesante criadero de Benimesala, en la zona del Protectorado de Marruecos. Se presenta en calizas y margas un filón interesantísimo con dos bandas de sulfuro de antimonio metalizado, de una potencia verdaderamente interesante. Este criadero es el que se trabaja con mayor intensidad en España actualmente, para lo cual no deja de ayudar el que las condiciones de trabajo de la mano africana son más favorables.

3. ESTADÍSTICA DE PRODUCCIÓN DE ANTIMONIO EN ESPAÑA. INTERÉS MILITAR DEL ANTIMONIO. FÓRMULAS DE VENTA

3.1. A continuación se insertan las producciones de antimonio en el mundo en los años 1937 y 1940 a 1943:

TABLA I

	1937	1940	1941	1942	1943
Canadá		1.083	1.329	1.269	453
Méjico	9.800	11.286	10.241	10.759	12.587
Estados Unidos ...	1.100	412	1.013	2.458	4.963
Bolivia	3.900	10.813	13.680	16.231	16.356
Perú...		809	1.440	1.338	2.189
Checoslovaquia.. ...	900	1.104	1.645	3.130	...
África del Sur... ...		126	420	689	1.045
China...	14.700				
Australia	200				
Italia	500				
Otros países	2.800				

Es interesante ver la diferencia de producción y el trastueque de comercio del antimonio que ha producido el reparto geográfico de las minas desde el año 1937 hasta el año 1940.

Vemos que Bolivia pasa de 4.000 a 10.000 toneladas. Desaparece prácticamente Italia.

Como luego se verá por los usos del antimonio, ha sido un metal que ha producido verdadera perturbación durante la última guerra para las industrias americanas e inglesas el encontrarse con sus fuentes nor-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

males cerradas y haber tenido que intensificar la producción de otros países.

3.11. *Estadística del antimonio en España.*—Claramente demuestra que Lugo, con sus minas de Villarbacú, desde el año 1941 hasta el 1946 tuvo alguna importancia, y que, a medida que baja la producción de Lugo, parece aumentar la producción del Marruecos español en las minas de Benimesala.

En España, las únicas minas que han sostenido su producción en aumento y a costa de un equilibrio económico han sido las de Ciudad Real.

En el antimonio metal, la estadística señala la producción de subproductos, como el que da Murcia, producidos en Vizcaya al fundir los minerales de Ciudad Real en la instalación de Asís de Industrias Reunidas y de los minerales de Marruecos y Lugo, que es en su totalidad de los antimonios españoles.

El consumo máximo que se puede pensar en España de antimonio metal es el de 40 t. por mes, y creemos que esta cifra es un poco elevada. Como luego veremos, la pobreza en nuestro mercado nacional tiene influencia muy importante en la economía minera de este producto.

3.2. El interés militar del antimonio está por su utilización en las balas detonantes, en el relleno, en balística, y en la utilización del óxido y del sulfuro para la carga de bombas, que producen un humo blanco muy denso al hacer explosión, así como para obtener pinturas obscuras para «camuflado», que tienen la propiedad de tener una reflexión infrarroja, de las mismas características que el verde de campo.

TABLA I

Antimonio mineral

	1935 - 38	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948
Badajoz	13		9	37	12						
Lugo		48		276	260	269	109	140	50	38	37
Marruecos		139	140	185	325		162	117	252	289	543
Ciudad Real				21	277	290	302	215	263	214	400
Córdoba					20						
Coruña											
Gerona					120	20					
Orense											
Jaén							15		2		
Burgos										23	
	13	187	149	519	1.014	579	588	472	567	564	980

TABLA III

Antimonio metal

	MURCIA			VIZCAYA		
Año	Ptas.	Kg.	Precio. Kg.	Ptas.	Kg.	Precio. Kg
1933.....	124.072	58.000	2,13			
1934.....	129.059	87.594	1,47			
1935/38..	125.229	78.269	1,59			
1939.....	47.325	31.550	1,50			
1940.....	43.500	29.000	1,50	758.502	108.386	7,—
1941.....	60.000	40.000	1,50	2.307.782	162.413	14,20
1942.....	65.747	43.810	1,50	6.536.592	370.000	17,66
1943.....	875.907	78.206	11,20	7.660.035	510.673	15,—
1944.....	1.404.000	78.000	18,—	5.535.000	369.000	15,—
1945.....	1.586.000	87.000	17,—	4.576.500	329.000	13,91
1946.....	82.080	57.000	1,44	4.959.000	342.000	14,50
1947.....		88.471		2.805.000	187.000	15,—
1948.....		41.978	11,—	6.531.000	271.000	24,09

3.3. La fórmula de venta del antimonio que se emplea principalmente en Francia es la siguiente:

$$P = a \cdot x \cdot t \cdot x \cdot c - f$$

en la que P representa el precio a un coeficiente que, en general, suele ser de 0,70, y que depende de la ley del antimonio; t, el tanto por uno de la ley del concentrado; c, la cotización del metal en el mercado, y f, los gastos de fusión.

Esta fórmula apenas se emplea en España, y los fundidores tratan de comprar el mineral en las mejores condiciones posibles, sin que, que sepamos, exista ninguna regulación de la Secretaría Técnica o de otro organismo para la fijación de precios.

Para el fomento de la Minería sería sumamente interesante que este asunto se estudiara, basándose, claro está, en el precio legal de venta del antimonio, que actualmente es 24,50.

Por otra parte, la aplicación de esta fórmula en España no puede ser más fácil, ya que los gastos de fusión f tienen que resultar actualmente un poco anor-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

males, tanto por las dificultades de acopio de carbón para el fundidor como porque las pérdidas de tratamiento son mayores que las normales en factorías extranjeras, por la menor producción, y, en parte, también por no llegar a la perfección técnica debida.

4. USOS DEL ANTIMONIO

Hemos señalado los usos que podemos llamar estratégicos, y el empleo principal del antimonio, aparte de los anteriores, que casi consume el 80 % de este metal, es el de aleaciones con plomo, antifricciones y bronce antimoniado.

Tiene una serie de aplicaciones de tipo químico, sobre todo en sulfuros y óxidos, y entre ellos en pirotecnia.

El empleo mayor de los antifricciones de plomo son para perdigones y para placas en la fabricación de baterías.

El trióxido y el trisulfuro, así como el sulfuro de antimonio, se emplean, repetimos, como pinturas de «camuflaje».

5. PROSPECCIÓN, EXPLOTACIÓN Y PREPARACIÓN EN LAS MINAS DE ALMURADIEL (CIUDAD REAL)

Las condiciones de la metalización de las minas de Almuradiel (provincia de Ciudad Real), así como las similares en su formación geológica que hemos señalado en la corrida del siluriano de Ciudad Real y Andalucía, son una serie de filones paralelos con dirección general Este Oeste, con hastiales principalmente de pizarra y de cuarcita que forman este terreno. Parece encontrarse mayor metalización cuando los hastiales son de pizarra que en los bancos de cuarcita, aunque también se presentan en éstos más diseminados. El relleno del filón, como hemos indicado, es de cuarcita, y la potencia del mismo varía de 4 m. a 80 ó 90 cm.

Todo el terreno está muy agrietado, por lo que las cantidades de agua de los desagües son realmente considerables y perturban y encarecen el establecimiento de los pozos. La roca es muy dura y muy raspante, lo que también hace que resulte cara la perforación de galerías. Oscilan en una cifra del orden de 400 ptas. metro lineal, sin gastos generales, y de 1.500 ptas. por metro de pozo de sección corriente es perfectamente frecuente.

El método de explotación que se emplea es en rebaje, unas veces, y en realce, otras. Se efectúa el relleno en aquellas zonas en que los hastiales son menos duros, y una sencilla entibación por estemples en aquéllos en que es posible efectuarlo con seguridad.

La investigación en Almuradiel se ha localizado en las dos minas «Loulik» y «Ana Mary», distantes aproximadamente unos 500 m., aunque investigando filones distintos. Se han limitado las investigaciones a la preparación de las labores de producción.

Los árboles encontrados oscilan entre 100 a 130 m., con una tendencia a profundizar. Es decir, que es una mineralización en chimenea.

La mineralización se presenta en bandas de antimonios en los hastiales y en el centro, generalmente, y una diseminación de estibina en todo el relleno de la caja.

Como cálculo general se puede dar aproximadamente unas 5 t. de mena bruta por m^2 de filón, con una ley de 2,50 a 3 % de antimonio metal.

Lo caros que resultan los pozos y galerías, por una parte, y la lentitud de su ejecución, hacen que este sistema de investigación resulte sumamente inadecuado. Una vez determinado un árbol metalizado puede tener ventaja el efectuar pozos y galerías en el mismo, pero la investigación general y sistemática se debería hacer a base de sondeos.

Es curioso señalar que en las interesantes minas de antimonio de África del Sur, con mayor ley que las nuestras, pero con una mineralización muy similar a la que referimos, hasta hace unos años también se efectuaban las prospecciones a base de pozos y galerías y que actualmente se ha llegado a la conclusión de que el establecimiento sistemático de sondeos, después de un detallado estudio geológico superficial, es la solución más económica y acertada.

Desgraciadamente, en el país los equipos de sondeo son escasos, y los sondeos por contrata resultan bastante caros. Es uno de los problemas que más interesa a la minería el de poseer amplitud de equipos de sondeo y rebajar el costo de los sondeos, para lo cual parece se debiera dar gran preferencia a la importación de los mismos.

La única parte que conviene hacer resaltar del laboreo de Almuradiel es la gran cantidad de agua y lo

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que «pesa» en toda la explotación, llegando a 10 pesetas por tonelada bruta.

En el año 1948 las minas de Almuradiel tuvieron los siguientes rendimientos:

Dias de actividad: 304. Pueblo minero: 558. Mineral bruto extraído: 12.436. Estibina con el 55 % producida: 400. Rendimiento por jornal, kg. de estibina: 8,32. Rendimiento por jornal, t. bruta: 0,255.

Conviene hacer resaltar lo baja que resulta la producción por hombre, para una mena densa como la de antimonio.

La única solución para obviar este inconveniente sería el aumentar la producción, para que la relación de jornales de varios en explotación y en lavadero fuese más favorable con relación a los de arranque, pero para ello nos encontramos en la práctica con que pasadas 40 t. mensuales de estibina, es poco menos que imposible hallar venta para este producto, y la exportación, como luego veremos, se halla frenada por las condiciones económicas actuales.

El precio de costo aproximado viene a resultar en la forma siguiente:

Arranque y preparación	78	ptas. t bruta
Tranporte en la superficie hasta lavadero ...	19	»
Preparación mecánica en gravedad y flotación	59	»
Gastos varios de materiales, energía, explosivos, etc.	47	»
Cargas sociales	46	»
Total	249	ptas. t bruta

De lo cual podemos deducir el precio «básico» de una explotación minera de este tipo:

Costo por mano obra	72,—	1,—
Cargas sociales	89,—	1,2
Materiales, energía y otros	88,—	1,2
Amortización del capital, a razón de 250 pesetas t/año	50,—	0.7
	299,—	4,1

En este cálculo se ha tomado como base el jornal de día de trabajo y considerado como cargas sociales los domingos, seguros, gratificaciones, etc.

La mecanización de estas minas se reduce al equipo de aire comprimido. Las minas están electrificadas en su totalidad.

En minas de este tipo, en las que la cantidad de sílice es muy elevada, es lógico que la carga producida por la silicosis sea sumamente elevada, por lo que se debería tender a una perforación con máquinas mucho más pesadas, equipadas con agua, y al establecimiento de cargadores de aire comprimido, todo ello al objeto de hacer que la producción específica por hombre que se halle en ambiente silicoso sea lo mayor posible; pero, desgraciadamente, para esto hace falta una continuidad de marcha y una producción específica de las que estamos todavía bastante alejados.

5.2. PREPARACCIÓN MECÁNICA

La preparación de esta especie mineralógica se suele hacer en tres formas principales: Por licuación, muy empleada en China, en la que se aprovecha la característica de la estibina de fundirse rápidamente. Las pérdidas son muy elevadas, sobre todo si en el mineral se halla diseminada la ganga.

Por gravedad. Por la densidad de la estibina comparada con la ganga que suele acompañarla y cuarzos, responde relativamente bien a este tratamiento, siempre que aquélla no esté diseminada. En cuanto hay que llegar a una trituración a fondo, la propiedad que tiene de formar escamas muy tenues hace que las pérdidas sean elevadas.

Y, por último, la flotación, en la que, como todos los sulfuros, es relativamente flotable. Sin embargo, es bastante reacia al proceso de flotación, sobre todo si transcurre tiempo entre la extracción y el lavado, pues con mucha facilidad se oxida y la película de óxido la hace muy reacia a la flotación. Hay que activarla con reactivos adecuados. En general, se emplea para este objeto el ácido sulfúrico, hasta en cantidades de 5 kgs., y el sulfato de cobre.

Por lo demás, los reactivos son los corrientes de aceite de pino, xantato y creosotados.

En un mineral del tipo de los que se encuentran en Almuradiel, en el que un 50 % de la estibina se halla en grano grueso, pero el otro 50 %, bastante diseminado, hasta el punto de que para obtener una buena recuperación hay que llegar a una molienda por bajo de 150 mallas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Los resultados que se están obteniendo en el momento presente son los siguientes:

	Peso	Ley de antimonio en forma de sulfuro
Mineral de entrada	100	2,75
Concentrado	4	55,—
Estéril	96	0,57

que corresponde a una recuperación global del 80 % del antimonio sulfurado contenido.

En la marcha del lavadero de antimonio de Almuradiel el rendimiento obtenido es sumamente favorable para un mineral del tipo indicado.

El mineral, en general, flota muy bien en un 50 %, pero el resto para obtener una buena recuperación es imprescindible el activarlo con adición de ácido sulfuroso en cantidades hasta de 5 kgs. por t. Los reactivos empleados son ácido sulfuroso, aceite de pino, creosota y xantato.

6. PRECIO DEL ANTIMONIO

El precio del antimonio en España es actualmente 24,50 pesetas. La última cotización en Nueva York que registran los periódicos técnicos es de 32 centavos por libra.

Comparado el mercado del plomo con el del antimonio, vemos que este último tiene siempre una cotización, tomando la media en grandes planos, de varias veces más. Sin embargo, el mercado del antimonio es mucho más difícil que el del plomo, ya que éste es un metal fundamental para aleaciones y la demanda de este producto es la que provoca las oscilaciones del mercado.

Por otra parte, existe una lucha casi continua entre Bolivia, China, Méjico y Yugoslavia. Por ejemplo, en estos momentos hay en todo el mercado internacional cantidades muy apreciables de antimonio-metal que lo ofrecen con insistencia los yugoslavos en un verdadero «dumping».

7. POSIBILIDADES DE LA INDUSTRIA DEL ANTIMONIO EN ESPAÑA

Por la exposición de las minas de antimonio en España se ve que nuestras reservas son verdaderamente amplias, que prácticamente no se ha hecho más que rascar la superficie de nuestros criaderos, sin haber hecho ninguna explotación de importancia y sistemática.

Realmente, tomando una media como la de las 100.000 t. trabajadas en Almuradiel, se ve que la ley con que se podría contar es de 2,50 a 3,5 % y que los filones tienen un tonelaje de 5 t/m², por lo que sería económico el trabajar para exportación.

7.1. POSIBILIDAD DEL MINERAL DE ANTIMONIO CON MIRAS A LA EXPORTACIÓN

Enfoquemos una minería tipo de este producto, de acuerdo con lo señalado anteriormente.

La mina tipo la podemos suponer con 2,50 a 3 % de antimonio contenido en las zafras, y con una recuperación actual de 20 kgs. de antimonio.

Para obtener un precio de antimonio y poder competir en el exterior es evidente, por los costos que se han señalado anteriormente y la necesidad de rebajarlos muy sensiblemente, lo que se puede conseguir con una mayor mecanización que aumente la producción específica por hombre, unida a una intensificación de la producción de cada mina o grupo de minas, para que la mano de obra de extracción y lavadero sea menor relativamente al total.

En una mina tipo como la señalada, para una producción de 24.000 t/año podría llevarse con un pueblo de 150 a 200 hombres, perfectamente normal en nuestro país. Sería necesario cubicar para diez años de trabajo, o sea 240.000 t. mínimo, que con 5 t/m² de filón y 100 m. de profundidad suponen 480 m. de corrida mineralizada. Suponiendo la relación de estériles con mineralización en las zonas elegidas, de 4 a 1, nos supondría 2.000 m. de corrida a reconocer.

Este reconocimiento podría hacerse a base de sondeos, con 48 sondeos de 50 m. y 20 de 100 m., iniciándolos cada 100 m. y en los lugares donde se haya hallado mineralización aceptable a los 50, dar uno a cada lado de 100 m. de profundidad. Supondría una inversión del orden de 880.000 pesetas para este objeto.

Por otra parte, por la experiencia actual en minas de este tipo, se puede calcular que la inversión por t/año es del orden de 250 a 300 ó 350, según que

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

se quiera obtener un rendimiento total por hombre del orden de los 250, 500 ó 750 kgs.

En estas condiciones, el capital que sería preciso invertir, según los diferentes casos, sería el señalado en la tabla siguiente:

Rendimiento por jornal	t/año	Capital		Total	Amortización en 10 años a 10 %
		Instalación	Investigación		
250 Kg/día	12.000	3.000.000	—	3.000.000	390.000
500 »	24.000	7.200.000	880.000	8.080.000	1.060.000
750 »	30.000	10.500.000	1.760.000	12.260.000	1.600,000

El costo técnico por kg. de metal contenido en el concentrado por kg. de metal ya fundido, suponiendo que el valor del contenido es el 60 % del valor minero-metalúrgico, sería el siguiente:

	Pesetas por tonelada bruta					Por kg.	Antimonio
Rendimiento	Amortización	Mano de obra	Cargas Sociales	Materiales	Total	Concentrados	Metal
250	32	72	89	88	261	13,01	21,5
500	44	36	49	88	217	10,31	17,2
750	52	24	29	88	193	9,65	16

Ahora bien, un nuevo incremento del mineral de antimonio sería imposible sin seguridad de exportación, y por lo tanto, conviene enfocar la relación dólar-peseta necesaria para que pueda verificarse.

Tomamos como base una cotización del antimonio internacional de 40 cts. $, cifra que nos parece prudente para una vida de mina de diez años, teniendo en cuenta que nuestro metal tiene que introducirse en el mercado, establecer competencia y que, en general, nuestro metal nunca suele ser tan puro como los de la competencia.

Rendimiento	Costo metal ptas. Ke.	Costo metal cts. Pesos Kg.	ptas. %
250	21,5	40	54
500	17,2	40	44
750	16	40	40

7.2.—La realidad de estas cifras son perfectamente claras:

El antimonio en España podría ser fuente de riqueza con posibilidades de exportación, de sostenerse económicamente. Sin embargo, no es una realidad y para lograrlo serían necesarias las condiciones siguientes:

Necesidad de apoyarse en el mercado nacional para verificar la conveniente exportación del resto, para lo cual es imprescindible:

Poner las condiciones de mano de obra de nuestro Protectorado similares a las de la Península.

Que la política económica tenga continuidad al enfocar problemas económicos mineros, pues las pautas para el estaño, el antimonio y aún el grafito han tenido grandes variaciones, con perturbaciones sensibles, pero que, sobre todo, atemorizan a los industriales para iniciar nuevos asuntos.

Fomentar y dar facilidades para la importación de equipos de sondeo, de tubería y de diamantes para investigaciones mineras.

Reglamentación, si no modificación, de la legislación minera actual, ya que ésta obliga, para la prospección mínima, a la presentación de planos e informes, con su secuela de visitas y proyectos, que, en resumen, hacen que, para iniciar cualquier investigación minera, haya que contar previamente con una oficina técnica.

Regular también, simplificando en forma general, la legislación de trabajo, pero sobre todo, la de cierre o despido de las instalaciones mineras cuando se verifique el agotamiento económico de las mismas.

Modificar y estudiar a fondo la legislación de Hacienda con relación a la Minería: esta industria es radicalmente distinta a las otras industrias y no puede estar en la misma casilla que ellas. Tan olvidada está la minería, que incluso los técnicos de Hacienda no son del Cuerpo de Minas, en lo que a esta industria se refiere. Es imprescindible que nuestra Hacienda, si quiere el país fomentar la Minería, establezca que la *amortización del capital* pueda efectuarse a lo largo de la explotación, ya que el agotamiento de la mina lo exige, sin que influya en la Tarifa 3.ª

Incluso en países como Estados Unidos, que precisamente en este momento está estudiando la modificación de esta cuestión, tienen establecida la cuota que ellos titulan «depletion» que es, en resumen, la amortización del capital minero como cantidad deducible.

Conveniencia de dar libertad de precios para aquellos metales como el antimonio, cobre, estaño, etc., que de no producirse en España habría que importar. Con efecto a base de los precios oficiales se establece una

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

minería. Por razones de todos conocidas, pero principalmente falta de energía, carestía de materiales, aumentos de jornales impuestos, aumentos de tarifas de ferrocarril, impuestos, etc., los costos suben de un mes a otro, en cifras del orden del 40 %. Las minas se ponen en pérdida y, para conseguir el nuevo precio, tienen que presentar un escandallo y esperar larga tramitación. Y si los industriales que están trabajando continúan y luchan... los posibles, los que fomentan la nueva riqueza se hallan atemorizados y no quieren emprender esta peregrinación.

Es necesario llegar al concepto de que el fomento de la Minería no se puede llevar a cabo a base de creer que la mina, por regulación económica, puede terminar siendo un valor-obligaciones. A la Minería hay que dejarle sus grandes riesgos, por beneficios o por pérdidas, pero con plena y absoluta libertad, siempre, claro está, que se trate de productos que no puedan ser fundamentales para la economía nacional.

Sin estas medidas, el mineral de antimonio y tantos otros metales que podrí'an tener porvenir en España, seguirán con vida durmiente, limitando y rebajando la producción de sus minas, como sucede ya actualmente en Lugo y en Almuradiel, y se limitarán a la recuperación de subproductos, como Murcia o Peñarroya, o a la importación de minerales de África en mejores condiciones económicas y a alguna importación accidental del extranjero, pero es imposible el pensar que se active o se fomente.

Y en cuanto a la exportación, el establecimiento de cuentas de cambio específico no resuelve absolutamente nada. Estos cambios están fijados al objeto de obtener el equilibrio económico de cada una de las industrias. Por lo tanto, a mayor costo, o sea, peor instalación, se obtendrá mayor cambio preferente, y a menos costo o mejor instalación, un cambio preferente menor, y en estas condiciones, realmente, en lugar de fomentar iniciativas, lo único que se hace es frenar. Repito que me refiero única y exclusivamente a las industrias nuevas, ya que las antiguas siguen el engranaje económico.

Aun con cambio preferente, todos los intentos de exportación que se han hecho para el antimonio han resultado fallidos, por ser imposible colocar con el precio de costo que actualmente se obtiene en el país, ni siquiera aprovechando la laguna de productos de nuestros tratados comerciales, como ha sucedido en el caso de Holanda.

La única solución sería la de cambio libre de la moneda, y si esto, nacionalmente, no es conveniente verificarlo en el momento presente, conceder cuentas combinadas a los mineros de este tipo de minería, reguladas y con una valoración del orden del 80 % como mínimo de la moneda extranjera que produzcan.

Después de unas breves observaciones hechas por el Sr. Velarde se pasa a leer la Ponencia titulada: "Aprovechamiento e investigación de yacimientos mineros", que es la siguiente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

Aprovechamiento e investigación de yacimientos mineros
(PONENCIA)

NOTA PRELIMINAR

La ponencia núm. 11, sobre el tema "Aprovechamiento e investigación de yacimientos mineros", acordó repartirse la redacción del trabajo entre los miembros de la misma, y el Presidente del Instituto de Ingenieros Civiles, D. Agustín Marín, redactó el capítulo de Introducción y los referentes a petróleo, carbón, cobre y plomo, aportando al mismo datos y estudios de los que una parte habían visto la luz pública en otras publicaciones. En el capítulo del plomo, las consideraciones sobre los criaderos de las provincias de Córdoba y Ciudad Real, están recogidas del libro "La Minería del Plomo", del Sr. González Llana.

El capítulo referente a la investigación de las bauxitas, está redactado por el Director del Instituto Geológico y Minero de España, D. José García Siñériz, y el capítulo referente al estaño, se debe al Ingeniero Industrial D. Francisco Torrás.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Nadie puede negar que en el final del siglo XIX, en algunas substancias minerales, el desarrollo minero en España era grande. Allá por los años 1890 a 1910 se explotaban cerca de 10.000.000 de toneladas de mineral de hierro, y ahora sólo se tiene una producción que no llega a tres millones. También por aquel año de 1890, se llegaron a producir en España 370.000 toneladas de plomo, mineral que constituía el 57 % de la producción mundial, y ahora representa sólo del 2 al 3 %, con una producción mundial de cerca de 2.000.000 de toneladas. La producción de minerales de cobre fué allá, a fines del siglo pasado, la mayor del mundo. Se obtenía cerca de 50.000 toneladas de cobre metal, y actualmente, incluído el que se obtiene de la chatarra, no llega a las 10.000 toneladas. En minerales de cinc no se produjo en tiempos antiguos su producción paroximal, sino que ocurrió por los años 1909 al 1914, coincidiendo en la anterior guerra europea.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La razón del actual decrecimiento de producción en estas básicas substancias, ha sido el empobrecimiento de los criaderos y el no poder resistir en el mercado la competencia extranjera.

Hay, sin embargo, criaderos en España, como los de mercurio, piritas de hierro y sales potásicas, y tal vez de antimonio y fluorina, que pueden suministrar al mundo estas substancias por tiempo indefinido, hasta donde el hombre puede perforar el porvenir. Las limitaciones de producción tienen por causa, en estas substancias, la competencia comercial; es cuestión de transportes, de razones políticas y, a veces, de falta de elementos para establecer grandes explotaciones.

En el proceso productor de estas substancias, a través de los años, ha ocurrido que, cuando el mundo consumidor se había ensanchado, cuando las necesidades de los hombres se habían acrecentado por una mayor prosperidad económica, sobrevienen períodos de bonanza en la industria minera, como en los años 1927, 28 y hasta el 29, años en los que el mundo quebró por no poder sostener el lujo que alcanzaba.

En aquellos años de inflación económica se llegaron a producir anualmente en España 1.000.000 de toneladas de acero, cifra que no se ha vuelto a alcanzar.

Pero, es indudable que la industria minera en nuestro país, por unas causas o por otras, se encuentra en decaimiento grande, y es preciso analizar, escudriñar bien los motivos que lo han producido, para determinar si debemos abandonar toda idea de regeneración en la industria minera, o si, por el contrario, debemos poner, con energía, los medios para conseguir el florecimiento de una industria tan española, y que supo inventar y extender a otras tierras del mundo procedimientos y doctrinas para producir y beneficiar los metales.

La causa principal de la decadencia de nuestra minería la ven muchos en el empobrecimiento de los criaderos españoles. Se considera que los fenicios, que los romanos y que los ingleses, explotaron el cogollo, lo más rico de nuestros yacimientos, y que nos han dejado lo pobre, lo que no se puede explotar en condiciones remuneradoras. No cabe duda de que ya no existen aquellos yacimientos extraordinarios de Bilbao, de Ríotinto, de Linares, de Cartagena, de Mazarrón, de Hiendelaencina, de Sierra de Gádor, y también podemos asegurar que no sufrirían la competencia extranjera los productos que ahora se pueden obtener si se utilizaran los mismos medios, que entonces, de explotación y beneficio. Tampoco podemos negar que productos como el petróleo y los fosfatos no se encuentran en España. Mas esto no quiere decir que no se hallen en nuestro subsuelo más masas minerales que las hasta ahora explotadas, y que no existan minerales que, aunque más pobres que los de antes, actualmente se puedan explotar remuneradoramente, si podemos aplicar a su explotación y beneficio procedimientos que antes no se conocían. También creemos que tal vez se pueda llegar a encontrar substancias que hasta ahora se han negado en nuestro suelo, pero que son las que promueven las ambiciones no sólo de los hombres, sino de las naciones.

Reconozcamos que la industria minera pasó unos años en período letárgico, que teniendo la despensa llena de metales se los comió y se dió cuenta tarde de que las vacas gordas se habían convertido en delgadas. Los azares políticos, nuestras contiendas civiles, nos distrajeron, nos impidieron llevar el ritmo progresivo de las industrias de otros países; eran pocos los militares, abogados y poetas que había para hacer arengas y discursos pasionales, y los españoles se alejaban de las minas y talleres.

Afortunadamente, existe una fuerte reacción en España, sobre todo desde nuestra Cruzada. El Generalísimo señaló, desde el momento en que se aclaraba el horizonte, que los asuntos económico-sociales son los que dan vida a los pueblos y los que los conducen a la prosperidad, y que habría que buscar la solución por todos los medios posibles.

Mucho se ha comenzado a hacer y el Estado, con sus organismos estatales, también trabaja, lucha fuertemente en buscar la regeneración de la industria minera, y es de esperar que tendrá buen éxito.

Se presentan, para llegar a esto, dificultades grandes. Una de ellas es la configuración de nuestro país. Fué este rincón del Globo atormentado en demasía, en el transcurso de los siglos, por las conmociones tectónicas, lo que motivó que la superficie de España esté cruzada de grandes arrugas, de grandes cordilleras que hacen difícil y onerosos los transportes, de modo que el

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

precio de coste de nuestros productos hay que acrecentarlos con un coeficiente mayor de la unidad, que hemos llamado «tectónico» en otras ocasiones, y cada día se hace mayor por el lamentable estado en que se encuentra el servicio de transportes, por causas que no vamos a analizar ahora.

Otra dificultad, y grande, es el escaso ambiente industrial en que se mueve España. El atraso industrial con relación a otros países ha sido tan grande, que los elementos necesarios para la explotación y beneficio de los minerales faltan y, como las primeras materias son deficientes, el rendimiento de las máquinas que se construyen en España no es grande. El capital, por otra parte, siente temor a invertir el dinero en asuntos mineros en los que haya que introducir modernos procedimientos. A estas causas hay que agregar los imponderables, algunos, con raíces en los problemas políticos, económicos y sociales de nuestro país. Por todas estas causas hay que reconocer que se precisa luchar con denuedo para vencer las dificultades que se ponen en nuestro camino, pero es necesario vencerlas con orden, política y con la ayuda de la Ciencia, cuyo progreso es indiscutible.

Dificultad, no pequeña, que ha producido el decrecimiento de nuestra industria minera ha sido también el modo de estar distribuída la propiedad minera: o por entidades de importancia, que no tienen más preocupación que sacar el mayor beneficio posible de los yacimientos cuya riqueza estaba a la vista, o de pequeños propietarios, con medios deficientes y cortos.

Es decir, que la codicia, de momento, guiaba la explotación, sin investigar nuevos criaderos, sin buscar nuevos campos de explotación y sin modificar los elementos de arranque y beneficio. Ya que con ellos ganaban dinero, ¿para qué cambiarlos?

No queremos dejar, sin embargo, de manifestar que hay sectores mineros en los que el laboreo se hace conforme a los más adelantados métodos, como, por ejemplo, en la explotación de la cuenca asturiana de carbón; tanto es así que unos eminentes ingenieros americanos que la visitaron, manifestaron que no se podrían explotar mejor nuestras capas estrechas y tortuosas, y que ellos eran los que tenían que aprender. Mas creemos que si no en la verdadera explotación, que es excelente, en los servicios auxiliares y en el tratamiento posterior, tal vez convenga establecer métodos y servicios que sean más eficientes y económicos que los actuales, como luego analizaremos.

Hemos indicado que, agotados los más ricos criaderos españoles, sin preocuparse los mineros de investigar debidamente la formación metalogénica donde aquéllos se presentaron, y falta o escasa España en otras substancias minerales, procede que hagan grandes y abundantes trabajos de investigación. Ya se han emprendido algunos muy interesantes. Estamos en el principio, pero seguramente se debe acometer una gran campaña, y que el Estado, a fondo perdido, como si se tratara de un servicio de Obras Públicas o de Educación Nacional o del Ejército, destinara a investigaciones de la riqueza minera del país, no las cantidades ínfimas que ahora se emplean, sino con los grandes desembolsos que una campaña de esta clase necesita.

En América, el Estado realiza un gran plan de investigaciones en busca de plomo, cobre, petróleo y otros minerales, de los que hay penuria, y ha presupuestado la cifra de 1.000.000.000 de dólares.

No aspiramos ni a acercarnos a esta cifra, pero no nos debemos asustar de cantidades grandes que, desde luego, aplicadas con base científica, tendrán positivo resultado que compensará al Estado del esfuerzo hecho.

No creemos que sea sólo el Estado el que haga estas investigaciones, sino que debe cooperar en el desarrollo del plan la industria privada. Creo siempre más eficiente la acción particular, impulsada por el natural deseo de buscar una fortuna, que no la acción, siempre un poco fría, del Estado, aunque se pongan al frente personas que dediquen todos sus entusiasmos a la obra. Mejor aún nos parece la colaboración, la compenetración de las actividades del Estado y de los particulares. Puede haber un intercambio de favores, de ventajas, en los que saldrán, seguramente, ganando todos.

A continuación exponemos, en líneas generales, un plan de investigación referente a los criaderos de las substancias que son esenciales para el desarrollo económico e industrial del país, y de las cuales, unas, faltan para las necesidades españolas, y otras, de las

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que consideramos que encierra nuestro subsuelo riquezas importantes que pueden influir mucho en mejorar nuestra balanza comercial.

Consideramos que las substancias que deben ser incluídas en el amplio plan de investigación que debe emprenderse en España, para bien de su economía, son las siguientes: Petróleo, Carbón, Cobre, Plomo, Aluminio y Estaño.

Respecto a la investigación de minerales de hierro, hoy día, la Dirección General de Minas y Combustibles, el Instituto del Hierro y del Acero y los particulares, han emprendido trabajos muy interesantes en Bilbao, coto Vagner (León), etc., que deben poner al descubierto, sin más reconocimientos, la riqueza de los criaderos ferruginosos de España.

En lo que al conocimiento de yacimientos minerales se refiere, ya hemos indicado varias veces que creemos mucho más conveniente, y de mejor éxito, el reconocer bien los yacimientos clásicos de España, que parecen como empobrecidos y agotados, que lanzarnos a buscar nuevos que será difícil hayan pasado inadvertidos al hábil buscador de minas.

Cuando se recorren los campos de Linares, de Cartagena, de La Unión, de Mazarrón, y se ven tantos pocillos abandonados en campos desolados, se piensa sin querer en que, con aquellos medios, no era posible obtener más que minerales que la Naturaleza ponía fácilmente a disposición del hombre; pero ¿cuántos criaderos no habrán quedado sin explotar y cuántos filones o bolsadas estarán ocultos al hombre?

Es más, se sabe, por ejemplo, que en Cartagena existe una riqueza grande de mineral de plomo, como lo acreditan firmas de completa solvencia; riqueza que, en otro tiempo, no se podía explotar y que hoy creemos que con su arranque produciría grandes beneficios.

En Sierra Almagrera, que hoy explota el Instituto Nacional de Industria, en Linares, en Hiendelaencina, quedan muchas cosas por hacer.

Pero, más aún que con la investigación, creemos que lo principal para regenerar la industria minera, es explotar los criaderos de metales de modo racional, formando grandes cotos en donde se unifiquen los servicios, aplicando procedimientos modernos, sobre todo en preparación mecánica y, tal vez, en metalurgia.

En la preparación mecánica mucho se emplea ahora en España el procedimiento de flotación, pero debe, sobre todo, completarse este procedimiento con otros completamente desconocidos en España, como son los medios densos «Sink and Float» y los electroestáticos, aunque estos últimos tienen uso restringido.

CAPÍTULO II

PETRÓLEO

La investigación del petróleo preocupa a todos los países, convencidos de lo que representa la posesión de dicha substancia para su independencia económica y aun política. Bien conocidos son los esfuerzos hechos por todas las grandes potencias para buscar tan preciado producto. Los millones de marcos gastados por Alemania hasta descubrir las cuencas de Hannóver y las de Austria son de mucho interés. Los desembolsos hechos en sus colonias por Inglaterra y aún en la misma Metrópoli hasta descubrir la cuenca de Earking; los dispendios continuos de América y de sus grandes «trusts» petrolíferos vertiendo el oro por todo el mundo, incluso en España. Los esfuerzos hechos por la Argentina para su independización en cuestiones de carburantes hasta llegar a encontrar la cuenca de Comodoro, Ribadabia y, sobre todo, lo que a nosotros nos interesa por la situación geográfica; el esfuerzo máximo de Francia promulgando una ley en la que destinan 50.000 millones de francos para las investigaciones de petróleo en la Metrópoli y Colonias, demuestran bien lo que representa para la economía de un país la posesión de yacimientos petrolíferos.

España, hasta el presente, habrá realizado apenas trabajos de investigación. Las galerías y los pocos sondeos realizados han sido de escasa importancia y obedecieron a esfuerzos aislados sin relación unos con otros y sin ser precedidos de un estudio concienzudo de la geología del país, ayudado por trabajos geofísicos.

En el momento actual inician el Estado y algunas empresas trabajos de investigación con fundamento científico, que luego citaremos, pero están emprendi-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dos los trabajos con poco brío y es preciso, antes de seguir adelante, puntualizar bien la situación de la cuestión en España. Para buscar la solución del problema hay que plantearlo bien, recopilando con detenimiento todos los antecedentes, analizando sus dificultades, juzgando sobre las posibilidades de hallar tan preciada substancia y, en fin, preparando un programa completo y racional de investigación del petróleo.

Creemos muchos que en España existen posibilidades de que se encuentren criaderos petrolíferos, y me ratifico en lo que dijimos en otra ocasión: «No suponemos que se van a hallar extensos y ricos campos petrolíferos como aquéllos con cuya posesión han fundado su grandeza las grandes potencias, pero sí que en el solar patrio, hecho pedazos, existan, en algunos de éstos, algunas cuenquecitas de petróleo que sean lo suficientemente ricas para que podamos los españoles conseguir una independencia económica que hoy sin petróleo no podemos tener».

Al acometer el problema hay que pensar en lo aleatorio del asunto y en que es preciso disponer de fuerte cantidad de dinero, que es lo probable que vaya a fondo perdido, como ocurre con mucho dinero empleado en el Ejército, Obras Públicas y Educación Nacional. Ahora bien, por muy dudoso que sea el buen éxito de hallar petróleo en nuestro país, creemos que constituye una necesidad nacional el acometer el asunto, como hacen todas demás naciones, ya que, por las manifestaciones existentes, por la geología del terreno y por semejanza con otros países en donde lo hay, existen posibilidades de hallarlo en nuestro suelo, según manifiestan la mayoría de los técnicos que se han ocupado en esta cuestión. Lo que no se debe hacer en el problema del petróleo es querer resolverlo fragmentariamente, sin que obedezca a un plan general bien concebido. Queda, pues, así planteada la cuestión: o se gasta una cantidad respetable en la investigación, apoyándola en las posibilidades de que exista petróleo en España, o se renuncia a la investigación.

Según los técnicos, en tres comarcas de España y en una del Marruecos español se presentan manifestaciones hidrocarburadas, y en ellas se han reconocido estructuras en donde puede existir petróleo. No diremos que no exista alguna más, pero las cuatro indicadas son las que han sido más consideradas y estudiadas: la Pirenaica, la Cantabro-Ibérica, la Andaluza y la parte Atlántica de la Zona del Protectorado Español en Marruecos.

En la región Pirenaica, como hemos indicado en un gran número de trabajos, las manifestaciones petrolíferas se presentan en dos terrenos distintos: en el Eoceno y en el Senonense (Cretáceo Superior) en muy diversos lugares. En el primero, la manifestación más importante es la del Ruitort, y en el Cretáceo la más interesante es la de Boixols.

Han sido estudiadas estructuras con bastante detalle en esta región por la Compañía de Investigación Española de Petróleos, S. A. (C. I. E. P. S. A.), y recientemente por la Empresa Nacional «Adaro», por cuenta del Instituto Nacional de Industria. También ha hecho algunos estudios la Compañía Arrendataria del Monopolio del Petróleo, S. A., pero de menos importancia que los de aquellas empresas. Todas estas sociedades y algún particular más han pedido concesiones de ptróleo.

En esta comarca o provincia petrolífera se pueden dirigir las investigaciones a buscar la roca que pudo motivar las manifestaciones eocenas o la que motivó las cretáceas. Lo que sí parece no da lugar a dudas es que ambas investigaciones no se pueden alcanzar en un solo sondeo, a causa de los fuertes espesores de algunos de los terrenos que precisa atravesar: Se cortaron 1.700 metros de Senonense en Tremp y 2.300 metros de Luteciense en el sondeo de Oliana.

En busca de las manifestaciones eocenas se realizó el sondeo de Oliana, que llegó a 2.300 metros de profundidad sin salir de las margas lutecienses, con gran homogeneidad, pues las únicas pequeñas diferencias en la naturaleza de las rocas son debidas al mayor o menor contenido de cal. Los fósiles foraminíferos han fijado perfectamente la edad de los estratos cortados.

Colocaron el sondeo en el eje mismo de un anticlinal eoceno que desgarró los bancos oligocenos. A nosotros nos parece que este accidente tiene carácter diapírico, pues, por los testigos interminentemente obtenidos, se aprecian inclinaciones muy diferentes, así como señales fallosas que parecen indicar que están rotos los bancos y que sus trozos se presentan como amontonados. Esto puede explicar el gran espesor del Luteciense, pues no se ha cortado en su situación estratigráfica normal, sino acumulados sus materiales en sentido vertical en el eje del pliegue. Lo que es indu-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dable es que este sondeo no es positivo, ni negativo; no es nada, porque se buscaban enseñanzas sobre la estructura y no se ha salido de la cubierta permeable, sin vislumbrar siquiera lo que por debajo podía existir.

En el sondeo de Tremp ha ocurrido lo mismo. Se ubicó durante la dominación roja en la zona de un anticlinal alejado de su eje y se comenzó en el Cretáceo Superior, sin duda guiados por las manifestaciones de Boixols, y se atravesaron 1.700 mts. sin salir del Senonense, probablemente, todo Mestrichtiense. Es decir, que no pasó de la cubierta permeable de margas y calizas, sin determinar cuál era la roca subyacente.

El sondeo pequeño de Boixols, puesto en el eje mismo del anticlinal-falla de Boixols-Coll de Nargot, se suspendió cuando no había llegado a 100 mts., sin sacar enseñanza alguna.

Por consiguiente, en el Pirineo Catalán, que es la parte de esta Cordillera en donde más manifestaciones petrolíferas se han encontrado, y donde ingenieros extranjeros muy competentes, en reciente visita, han emitido juicios optimistas sobre la extracción de petróleo en la vertiente Sur del Pirineo, sobre todo en la región de Boixols, no se ha realizado hasta el presente trabajo alguno de reconocimiento.

Aparte de las manifestaciones petrolíferas, aparte de los estudios de los ingenieros y geólogos extranjeros y españoles, que juzgan interesante la investigación de petróleo en las extensiones meridionales del Pirineo, hay que tener muy en cuenta el resultado de los trabajos de reconocimiento efectuados en las vertientes septentrionales del Pirineo que ha tenido por resultado el descubrimiento de unos gases combustibles cuya producción llega ya a cerca de un millón de metros cúbicos diarios, que se vende para producir luz y fuerza, y que se utiliza hasta en los automóviles. Ha dado lugar a una industria que proporciona estos hidrocarburos a Toulouse, Tarbes y Pau, y, dentro de poco, cuando esté terminada la conducción de gas, hoy en construcción, a Burdeos. Es una industria floreciente que ha conseguido ya amortizar todos los gastos de investigación realizados. Nuevos sondeos acrecientan la producción de estos gases. Estos gases arrastran petróleo y, entre lo que así se obtiene y el que producen algunos pozos en donde se ha hallado algo de petróleo, la producción de éste resulta ya interesante. Ultimamente han descubierto en el sondeo nombrado Lacq núm. 1, en el Campanense, a unos 600 mts. de hondura, petróleo que sube a 15 mts. por bajo de la superficie. Se calcula la producción en unos 20.000 litros diarios.

Como es sabido, el Pirineo es, en esencia, un gran anticlinal alpino cuyo eje es oblicuo con relación a los pliegues hercinianos, y tiene la dirección aproximada de la Cordillera. Las dos ramas del anticlinal, la francesa y la española, tienen estratigráficamente, en líneas generales, mucha semejanza. La rama Norte es algo más empinada que la Sur. En las dos, en las estribaciones, existen sierras secundarias: Montsech, Monroig, en España; Pequeños Pirineos, en Francia, que son precisamente en donde se presentan las manifestaciones petrolíferas. Esta semejanza, sin embargo, no es absoluta, como no es igual la estratigrafía en las distintas partes del Pirineo, pero a pesar de esas diferencias de facies y de las soluciones de continuidad estratigráficas, se presentan los mismos terrenos que tanto hay que considerar para vislumbrar la existencia del petróleo, y, en principio, existen en las dos vertientes las mismas razones geológicas para que exista petróleo. Sin embargo, hay que reconocer que las diferencias de facies pueden influir mucho en las condiciones que tiene que tener la roca-almacén y, por consiguiente, en las posibilidades de hallar petróleo explotable o no hallarle. Ha sido muy interesante para los franceses el horizonte de brechas del Cenomanense, pero en cambio hemos visto en España horizontes arenosos y calizas quebrantadas que no parece tienen tanto desarrollo en otro lado del Pirineo.

Los franceses tienen en marcha más de veinte sondeos en el Sur de Francia, y los buenos éxitos obtenidos los llevan a desarrollar más y más sus investigaciones.

Creemos que para nosotros la investigación del petróleo es un deber apremiante del Estado, buscando, en lo que se pueda, la cooperación de los particulares.

La Empresa Nacional «Adaro» tiene en estudio varias estructuras en donde juzga interesante la investigación del petróleo. Tal vez convenga realizar un sondeo de 800 a 1.000 mts. en Boixols, en el mismo sitio en donde se ven las manifestaciones de hidrocarburos en las calizas senonenses, por cuyas fisuras circula un aceite parafínico de buena calidad. El objeto de este

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sondeo es seguir con él el camino subterráneo que ha tenido ese petróleo hasta llegar a la superficie.

En el Pirineo, el I. N. I. proyecta la perforación con la nueva técnica de sondeos grandes de 3.000 a 3.500 mts. en las estructuras estudiadas.

Al mismo tiempo, los de C. I. E. P. S. A. piensan continuar los sondeos en el Pirineo, pues aunque ahora han retirado la sonda de Oliana para llevarla al Burgo de Osma (Soria), por razones de orden interior de la Sociedad, tienen el propósito de seguir sondeando en el Pirineo, convencidos de que el resultado de un sondeo no representa nada en la investigación de la cuenca.

Hemos señalado la conveniencia de hacer los dos sondeos, pero para marchar al ritmo que deben llevar estas investigaciones debían trabajar, por lo menos, por el Estado 5 trenes de sonda, 2 de 1.200 a 1.700 metros de hondura, y 3 para llegar a 3.000-3.500 metros. Hay que considerar que en un sondeo de estas profundidades grandes se tarda un año.

Otra comarca interesantísima, a nuestro juicio, es la Cantabro-Ibérica, en donde las manifestaciones petrolíferas son muy abundantes. La C. A. M. P. S. A. ha hecho en esta zona algunas investigaciones y en varias encontró algo de petróleo. Los trabajos más importantes son los que se están llevando a cabo en el valle de Zamanzas y en Huidobro, y los que se han efectuado en el condado de Teviño y en plena Navarra, en Gastiain, en atrayente anticlinal, en Aras y Salvatierra. En la provincia de Santander, en Santoña, Haedo, en Elorrio y Polocanco, y en Soria, en Fuentetoba y Quintana Redonda, se han hecho trabajos de reconocimiento siempre guiados por las manifestaciones petrolíferas del Wealdense. En algunos de ellos se encontraron señales de petróleo, aunque sin alcanzar un carácter industrial.

Los más interesantes fueron: los de Gastiain, en donde se hallaron muchos gases combustibles a presión, y los que realiza ahora la C. A. M. P. S. A. en el valle de Zamanzas. Esta última entidad ha perforado sondeos muy interesantes. En el núm. 2 cortó un nivel petrolífero interesante a los 372 mts. En el sondeo 3, de 820 mts. de hondura, se hallaron manifestaciones a los 430 y 452 mts. de hondura en el Wealdense y a los 650 y 783 mts. en Lías. El sondeo 4 alcanzó 920 metros. Han hallado las calizas con impregnaciones de petróleo en todas las grietas. El sondeo núm. 5 lo realiza con una máquina «Rotary» grande, y tiene en 8 de febrero 1.057 mts., y halló tres niveles petrolíferos, uno de ellos en un pequeño lecho de pudingas triásicas. El fondo sigue en el Lías.

Estos resultados son satisfactorios y hacen concebir esperanzas si se tiene suerte en hallar unas carniolas o calizas muy resquebrajadas en la parte alta del Trías que pudieran servir de roca-almacén.

La C. A. M. P. S. A. quiere dar a las investigaciones gran intensidad. Esperemos que se extienda en sus perforaciones a las regiones de Gastiain, en donde tal vez existan los indicios de petróleo más interesantes de la Península.

En la provincia de Soria, en Burgo de Osma, ha realizado las C. I. E. P. S. A. un sondeo de 220 mts. de profundidad, con el que ha llegado a cortar las margas del Trías, atravesando antes calizas con oquedades que no tenían petróleo.

Ahora va a realizar un sondeo en Alicante.

En Andalucía se puede considerar que existen dos provincias petrolíferas con caracteres distintos. Una, que comprende gran parte de las provincias de Sevilla y de Cádiz, en donde existen manifestaciones petrolíferas interesantes, y otra, en la costa levantina. En la primera se han realizado trabajos de investigación desde que halló el petróleo en los pozos y galerías de la mina de azufre de Conil. Se hicieron reconocimientos en Villamartín, Rubi, término de Utrera y en Lebrija.

La Empresa Nacional «Adaro» perfora un sondeo en Chiclana (Cádiz), con una máquina «Rotary», un poco antigua, del Instituto Geológico. Se han perforado hasta el presente unos 180 mts. Es un sondeo de prueba que se realiza con objeto de aplicar en España los procedimientos modernos de sondear, entre ellos, la aplicación de los lodos que hasta este año no se habían empleado en España.

El sondeo se halla en pleno Trías, terreno muy malo de atravesar con lodos, y han surgido algunas dificultades a causa de una avenida de aguas.

En este sondeo, desde los 170 mts., se están encontrando gases a presión que arrastran algo de petróleo. Este hallazgo es interesante y parece confirmarnos en nuestras ideas de que el Trías margoso es la roca madre del petróleo. Si esto es así, es preciso bus-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

car un sitio en donde el petróleo, de este modo producido, se almacene. Pudiera suceder que entre los depósitos triásicos hubiera algún nivel dolomítico, que generalmente están muy llenos de oquedades, que fuera apto para roca-almacén. Si no se hallara este nivel, será forzoso investigar en otro sitio en donde se supiera que encima del Trías existen rocas capaces para retener el petróleo y que tengan superpuestas rocas impermeables que corten su emigración.

Por consiguiente, nos parece conveniente seguir el sondeo de Chiclana, tratando de atravesar el Trías y realizar otros sondeos en busca de roca-almacén en terrenos superpuestos al Trías, empleando una sonda grande. Para hacer estos trabajos se deben adquirir sondas grandes «Rotary», con técnica de lodos capaz de alcanzar los 3.000-3.500 mts. de profundidad.

Un distrito petrolífero que juzgamos de interés es el de la costa Atlántica de nuestra zona del Protectorado Español en Marruecos. En ella ha efectuado «Adaro», por mandato del Instituto Nacional de Industria, varios trabajos de reconocimiento. Los franceses han realizado y realizan muchos sondeos en la zona de su Protectorado, cuyos datos obran en el trabajo de Marín antes citado, «El petróleo en España». Recientemente han hallado petróleo en la cuenca de Beth, en la región de Petitjean, en el Paleozoico, a 1.200 mts. de profundidad. Atravesaron en estos sondeos el Mioceno, en unos 1.000 mts.; después, rocas duras triásicas, en unos 200 mts., y luego hallaron el petróleo en las pizarras cristalinas y metamórficas con cuarzo, en bancos verticales del Paleozoico. Han perforado en la primavera pasada cinco sondeos en estas condiciones, que daba cada uno unas 17 toneladas al día por término medio. Hoy día han encontrado manifestaciones petrolíferas en el borde de la planicie de Mequinez y continúan los sondeos en Beth.

La prolongación de estos campos petrolíferos es lo que se busca con los trabajos iniciados en Larache en nuestra Zona. También ha hecho «Adaro» trabajos geofísicos de investigación por los métodos gravimétrico y sísmico, y muchos pequeños con objeto de determinar la estructura y disposición de las capas terciarias y cretáceas en relación con el núcleo triásico de los citados pliegues diapíricos. Se han hecho estos trabajos interesantes en los anticlinales de Zoco el Jemis, Dxar Yedid y Ludinien, y se han realizado siete sondeos. En el primero, de 212 mts. de profundidad, se comenzó en el Mioceno, hay un nivel cretáceo y se cortó a los 97 mts. de profundidad, el Triásico. El segundo se empezó en el Plioceno, y se suspendió pronto, en sal. Fueron muy interesantes los resultados del sondeo núm. 3, de 309 mts. de profundidad; se perforó casi todo él en margas del Mioceno, tramo Helveciense, y en unos niveles muy estrechos, de 2 a 3 cms. de espesor, se hallaron gases. El primer nivel de gases a la hondura de 108 mts.; el segundo a 135, y el tercero a 183, con presiones respectivas de 15, 20 y 30 atmósferas. Arrastraban los gases gotas de petróleo.

Una profundidad de 296 mts. alcanzó el sondeo número. 4. Se desprendieron gases y, a los 251 mts. de hondura, surgió agua artesiana salada. En los sondeos 5, 6 y 7, de 250, 356 y 251 mts. de profundidad, respectivamente, se desprendieron gases, sobre todo en el primero y en el último, pero con mucha menos presión que en el tercero. Se debe también esta falta de presión que se utilizaron los lodos en la perforación y éstos sujetaban los gases, pues cuando se limpiaron los taladros el desprendimiento de gases aumentaba. El gas obtenido es metano. Parecen indicar los resultados de los sondeos que las fallas del pliegue diapírico están selladas, y si no han dejado pasar los gases, con mucho mayor motivo no dejarán pasar a los hidrocarburos líquidos, si es que los hubiere.

Estos resultados, sumamente interesantes, animan a realizar un sondeo profundo de 1.200 a 1.500 mts. en esta misma zona del Zoco el Jemis, próximo al sondeo núm. 3 ya realizado en busca de más importantes manifestaciones petrolíferas.

Hoy día los trabajos están suspendidos, desgraciadamente, porque no se pueden seguir los sondeos pequeños en busca de estructuras por falta de tuberías. Creemos que hay que hacer toda clase de esfuerzos para realizar la investigación de este distrito petrolífero, porque la presencia de los gases a presión con arrastres de petróleo, almacenados en capas detríticas de uno a dos centímetros de espesor, hace concebir esperanzas sobre la existencia de estos hidrocarburos, en seguida que hallemos alguna permeable algo potente sirviendo de almacén. Está, pues, muy indicada la realización de un sondeo que atraviese todas las formaciones terciarias y cretáceas, en donde se presentaron

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

manifestaciones hidrocarburadas, hasta llegar al sistema jurásico y al Trías.

Por último, hacer sondeos en estructuras a medio reconocer con un tren grande para llegar a 2.500-3.000 metros. Se pueden comprar o contratar los sondeos al modo que se negocia con casas que arriendan estos trenes.

PLAN ECONÓMICO

Fundado en las consideraciones anteriores, creemos que si se quiere empezar la exploración del petróleo de modo racional y eficaz, se debe ir con brío a la solución del problema planteado, proyectando un primer plan general para llevarlo a cabo en 6 años, y que podría ser:

Pirineo:

2 sondeos de reconocimiento de 1.000 a 1.500 mts.
6 sondeos profundos de 3.000 a 3.500 mts.

Cantabro-Ibérica:

4 sondeos de 2.500 a 3.000 mts. en la región de Burgos.

3 sondeos de 2.500 a 3.000 mts. en la región de Navarra.

1 sondeo en Soria de 2.000 a 2.500 mts.

Andalucía:

2 sondeos de 1.000 a 1.500 mts.

Región Sevilla-Cádiz:

3 sondeos de 3.000 a 3.500 mts.

Región Alicante:

3 sondeos de 2.500 a 3.000 mts.

Marruecos:

2 sondeos de 1.000 a 1.500 mts.
4 sondeos de 2.500 a 3.000 mts.

En resumen; convendría realizar en 5 años:

Sondeos de 1.000 a 1.500	6
Sondeos de 2.500 a 3.000	15
Sondeos de 3.000 a 3.500	9
Total	30

Para realizar este plan haría falta adquirir o arrendar las siguientes sondas, teniendo en cuenta que hoy existen en España 2 máquinas para llegar de 2.500 a 3.000 mts. y una para llegar de 1.500 a 2.000 mts.:

2 sondas para alcanzar honduras de 1.000 a 1.500 mts.
3 sondas para alcanzar honduras de 2.500 a 3.000 mts.
3 sondas para alcanzar honduras de 3.000 a 3.500 mts.

De modo que la adquisición de las sondas para llevar a cabo el plan propuesto, representa el siguiente desembolso inicial:

	Dólares	*Pesetas*
2 máquinas para 1.500 mts.	180.000	5.106.400
3 máquinas para 2.500/3.000 mts.	150.000	42.552.000
3 máquinas para 3.000/3.500 mts.... ...	2.100.000	59.574.900
Total		107.233.300

La ejecución de los 30 sondeos representan el siguiente desembolso en 5 años:

6 sondeos hondura 1.500 mts.	6.000.000
15 sondeos hondura 2.500/3.000 mts.	60.000 000
9 sondeos hondura 3.000/3.500 mts.	63.000.000
Total	129.000.000

De modo que hay que suponer un gasto de 240 millones de pesetas, repartidas del modo siguiente:

Primer año	120.000 000	120.000.000
Los otros cuatro años	30.000.000	120.000.000
Total		240.000 000

CAPÍTULO III

CARBÓN

La cubicación de la Cuenca Asturiana se considera hoy de unos 1.000 millones de toneladas y, como se espera que se consuman anualmente 17 millones de toneladas (según datos para 1951), parece que estamos a cubierto de toda contingencia para el porvenir. Sin embargo, todo es poco si se considera la importancia que el carbón ha de tener en la industria, en el porvenir. No hay que estimarlo tan sólo como fuente de carbón, sino que de éste se obtienen cianamida cálcica, materias plásticas, acetileno (que se aplicará hasta en los motores), caucho artificial y, sobre todo, la obtención de hidrocarburos. Es, por tanto, a nuestro juicio, la investigación del carbón una de las cuestiones más interesantes en el campo de la Minería. Hay que llevarla a cabo con intensidad, no sólo para aumentar la cubicación de nuestras cuencas hoy en ex-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

plotación, sino también por lo importante que es para la economía nacional reconocer cuencas situadas en sitios donde se pueden transportar los productos con más facilidad que ahora a ciertas regiones de España, hoy muy distantes de las minas en explotación o separadas de éstas por sierras que aumentan mucho el precio de coste del medio de transporte. También se busca hallar carbones de determinadas calidades, como las de coque y de vapor, que escasean en las cuencas en explotación.

En la investigación hay planteados varios problemas de gran interés. 1.º Prolongación de las cuencas asturianas por debajo de los terrenos secundarios de la costa. 2.º Prolongación de las cuencas leonesas y palentinas por debajo de terrenos más modernos. 3.º Prolongación al Sur de la falla del Guadalquivir de las cuencas hulleras que se presentan al Norte de la misma. 4.º Reconocimientos de la cuenca de Henarejos (Cuenca). 5.º Reconocimientos de las cuenca pirenaicas. 6.º Investigaciones en la cuenca lignitífera de Teruel. 7.º Exposiciones en otras cuencas lignitíferas.

La cuenca de carbón central de Asturias, Mieres-Langreo-Aller, situada en un gran sinclinal paleozoico-fué admirablemente estudiada por D. Luis de Adaro, quien compuso los mapas estratigráficos que guían y orientan ahora a todos los exploradores de minas de aquella región. Los propios mineros realizan en aquella cuenca los trabajos de reconocimiento, de no gran importancia. La cantidad mayor o menor de carbón que se encuentre dependerá de la explotabilidad del carbón, de la profundidad a que lleguen los sinclinales que se apoyan sobre el fondo de caliza carbonífera, que probablemente formará el muro de todo el tramo hullero, o por limitación que hoy imponga la hondura, teniendo en cuenta que este límite de profundidad aumentará, con el pasar de los años, al ritmo de los progresos de la ciencia. En esta cuenca, Adaro cubicó 2.800 millones de toneladas (tal vez brutas), y los Ingenieros de la Dirección de Minas y Metalurgia han cubicado 1.050 millones de toneladas limpias para dar al mercado, que vienen a ser 1.500 millones de toneladas brutas.

Pero si en la cuenca central no hay que hacer investigaciones, sí se hacen, y creemos que se deben hacer más, en otros sinclinales que existen en los grandes pliegues hercinianos de la parte central de Asturias y en algunos que prosiguen a León. Se debe procurar con las investigaciones hallar carbones de vapor y de coque, que tan escasos están, o aquellos que mezclados con otros de las actuales explotaciones, puedan formar clases de los que faltan.

Parte de los pliegues, sobre todo en las partes Norte y oriental de Asturias, están cubiertos por terrenos más modernos: estefaniense, uraliense, permo-trías, lías, cretáceo y terrenos terciarios. Todos estos terrenos se presentan discordantes con el dinantiense-wesfaliense, indicando de modo claro la gran conmoción calificada por Stille de Astur. No cabe duda de que después del movimiento Astur se depositaron en forma transgresiva las capas estefanienses y que, por movimientos posthercinianos saálicos y pfálcicos se depositaron el permo-trías y demás terrenos secundarios; fué muy importante allí la transgresión cenomanense.

Se observan dos tramos carboníferos de caracteres muy distintos, ambos con carbón: preponderante el wesfaliense en Asturias, y preponderante el estefaniense en León, con la anormalidad de que los más antiguos son hullas, y los más modernos antracitas, sin duda por haber tenido estos últimos condiciones más favorables para su destilación.

Creemos que existe, por decirlo así, dos tectónicas: una que corresponde a los terrenos paleozoicos hasta el wesfaliense, que en la conmoción herciniana produjo pliegues hondos, de fondo, como diría Argand, que han sido después desmantelados, convirtiéndose en algunos sitios en casi penillanura, y en otros existen aún accidentes orográficos grandes, como el Aramo y otros formados por calizas dinantenses y cuarcitas paleozoicas.

La denudación del carbonífero fué completa en la parte occidental de Asturias, en la que fué aplastada contra el escudo o craton lusitanogallego, y los terrenos formando pliegues que afloran son cada vez más antiguos cuanto más próximos se hallen al referido escudo.

Todos estos pliegues forman el «arco Astur», y en la parte media septentrional de Asturias tienen dirección NE.-SO., para cortarse y tomar en la meridional NO.-SE. y, a veces, cerca de la oriental paralela.

En la curva de estos pliegues parece que se expansionan más las formaciones sinclinales, y en esta posi-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ción aparecen las cuencas sinclinales de Teverga y de Quirós. En la cuenca de Campo de Caso, situada al Este de la Central, se observa perfectamente el arco herciniano. En el centro de ella se presenta más ancha, y adelgaza hacia los dos extremos Norte y Sur hasta desaparecer entre los pliegues paleozoicos.

Los pliegues de Teverga y de Quirós siguen hacia el Norte de Oviedo y forman un congosto geológico, y parece que, después, se deben extender y ensanchar por debajo de los terrenos secundarios.

Otra tectónica hay que considerar desde los movimientos hercinianos póstumos (saálicos y pfálcicos) hasta los alpinos, pero que adquirió su mayor desarrollo en el pirenaico. Esta tectónica está producida por movimientos de empuje tangencial, de cubierta o cobertura (seguimos la designación de Argand), que dieron lugar a pliegues y fallas, pero siempre corriendo, deslizándose sobre la masa de terrenos muertos y poco conmovibles del macizo paleozoico herciniano.

Este modo de pensar nuestro nos hace meditar en lo que debe ser la investigación de los campos hulleros existentes por debajo de los terrenos secundarios. La existencia del carbón en esta situación la previó Luis Adaro, y la confirmación real, a fuerza de grandes sacrificios, fué llevada a cabo por los hermanos Felgueroso, con sus sondeos y pozos de «La Camocha». Entre ellos únicamente hay que repartir la gloria de este importante descubrimiento industrial.

En el transversal del pozo de «La Camocha» se cortaron 24 capas de carbón con bastante analogía con las de la cuenca central, y se pudo comprobar que la cuenca era westfaliense. Llega su columna estratigráfica a los pisos más altos de este tramo. Forman este westfaliense un sinclinal, probablemente, isoclinal, más estrecho, pero análogo al de la cuenca central. Las direcciones de las capas corresponden a la dirección herciniana, o sea, del NE. al SO., que es la que toman las líneas tectónicas después del estrecho de Oviedo, hacia el NE.

El sinclinal de la gran cuenca central asturiana tiene por el NO. como límite la caliza carbonífera dinantense, que forma el fondo donde se apoya el westfaliense, y que se ve en La Magdalena, Tejera, Villas, Veguín, Peña Alta, y en Las Grandotas. Este sinclinal debe pasar oculto por los terrenos trías y cretáceo, al Norte de Lieres, pues, según estudios del Ingeniero Vega Seoane, en las minas de este nombre están unidas sus capas sin solución de continuidad con las de la cuenca central, con las situadas al Norte de «Mosquitera».

En el arco del anticlinal situado al Oeste de la cuenca central se presenta la caliza carbonífera del Aramo, que la separa de la cuenca estrecha de Teverga, de modo que no parece sea disparate considerar que la cuenca llamada de «La Camocha» pudiera ser la prolongación de la de Teverga, separadas ambas por una zona estéril en el congosto geológico de Oviedo, en donde parece existe una exaltación de ejes.

El borde la cuenca de «La Camocha», al NO., puede ser que esté representado por los terrenos paleozoicos que, con alineación NE., van a morir al Cabo de Peñas. En resumen: que la cuenca llamada de «La Camocha» se apoya en este borde anticlinal, por el NO., y en el anticlinal dinantense de Las Grandotas, por el SE.

No creemos, sin embargo, que formen un sólo sinclinal las capas del carbonífero de «La Camocha». Nos parece demasiado ancho, y, además, se ve que esta región ha sido violentamente plegada, pues las capas se han encontrado casi verticales. Lo probable es que existan dos o tres anticlinales, y nos parece que los asomos dinantenses de Las Careses, en forma de muelas, indican la existencia de otro anticlinal que dividirá en dos al sinclinal de «La Camocha». De estos dos sinclinales, creemos el del SE. más estrecho y más quebrantado que el del NO.

En las investigaciones en busca de carbón por debajo de los terrenos secundarios no basta sólo con hallar el carbón, sino que es muy importante que se encuentre éste a profundidades explotables. Es decir, que el espesor de los terrenos de recubrimiento es muy interesante, como se deduce de lo que hemos manifestado. La tectónica de estos terrenos es muy distinta de la herciniana y, por consiguiente, los anticlinales, sinclinales, fallas, etc., de la superficie, pueden no tener repercusión abajo. En el cenomanense se nota una gran transgresión que se confirma por el carácter detrítico de las rocas de su base. Esto aumenta las conjeturas sobre el espesor de este terreno. El carácter a veces marino y otras continental del termo-trías hace que se presente con mucha irregularidad y sugiere la posibilidad de que en muchos sitios falte.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Nos aproximaremos más al buen éxito si colocamos los sondeos dentro del sinclinal o sinclinales hercinianos supuestos debajo de los terrenos secundarios, y aún mejor será no colocarse muy cerca de donde suponemos se encuentren los anticlinales. Se procurará, además, empezar el taladro en la parte más baja posible del sistema secundario.

Como apenas se reflejan los pliegues de los terrenos secundarios en la masa paleozoica inferior, fuera de la ayuda que pueden prestar en la ubicación del sondeo las consideraciones anteriores, hay que confiarse en el factor suerte. Ciertos estudios de detalle podrán ayudar a realizar una buena investigación, pero siempre los resultados de los sondeos son muy aleatorios.

Hoy se realiza gran número de sondeos en los alrededores de la concesión «Audacia tercera», en donde se hicieron, primero, sondeos, y después, el pozo maestro de las minas, y en donde todo lo descubierto está comprendido dentro del perímetro de dicha concesión.

La Empresa Nacional «Adaro» realiza dos sondeos, uno en Peón, al NE. de la cuenca de «La Camocha», y ha cortado el infralías y el trías en 300 mts. de profundidad, y otro en Pravia, al SO. de la mina, el cual cortó a los 840 mts. al wealdense y nos parece que entraba en el trías. La Real Compañía Asturiana perfora uno en Solíes, y desde la boca hasta 218 mts. de hondura cortó margas del trías con algo de yeso compacto y seco.

En San Martín de Apes, en el kilómetro 18 de la carretera carbonera de Sama a Gijón, se realiza un sondeo que, a 343 mts. de profundidad, se hallaba en unas calizas brechoides que parecen cenomanense. En Pola de Siero, dirigido por Patac, así como el anterior, se hizo un taladro que alcanza 517 mts. de hondura y donde las rocas halladas, según parece, confunden mucho. En Roces, en la mina «Sabina», la Sociedad Industrial Asturiana perforó un sondeo que a 215 mts. de profundidad cortó margas y yesos del trías, y otro, realizado posteriormente, cortó el carbonífero, como se preveía. En la mina «Santa Ana», el Ingeniero Marchesi, en la zona de Lugo de Llanera, ha situado un sondeo en el cretáceo análogo al de Pravia.

Como se ve, se investiga mucho y, además, hay preparados otros muchos sondeos; la Empresa Nacional «Adaro» realizará, por lo menos, tres más, de modo que las investigaciones en esta zona están en todo su apogeo.

Otro problema de investigación del carbón es el que está planteado sobre la prolongación de la cuenca leonesa-palentina, al Sur de la cordillera Cantábrica, por debajo de terrenos más modernos, del cretáceo al cuaternario, que forma la penillanura del Duero. Es problema análogo a lo que ocurre al Norte de la citada cordillera, en la región de Oviedo-Gijón, del que nos acabamos de ocupar, y cuya solución se ha empezado a hallar en ésta con los sondeos y pozos de «La Camocha».

La separación de los terrenos paleozoicos con los más modernos se hace en las provincias de León y de Palencia por una línea que casi sigue el paralelo entre La Robla y Cervera de Pisuerga. Esta dirección es la que toman las líneas tectónicas al Sur del famoso «arco» de Suess, aunque, en general, la dirección herciniana viene a ser, después de la curva, la de N.-NO.-S.-SE., y así lo hacen las leopalentinas después de Cervera. Esta dirección se debe, como hemos indicado, a que las conmociones hercinianas, en las que predomina la fase astur, ha estrellado los terrenos paleozoicos contra el escudo gallego. Es evidente que en ciertos sitios se encuentran retazos estefanienses y del permo-trías discordantes con el westfaliense.

El mar cretáceo, después de los movimientos hercinianos, formó un gran golfo, que hoy está recubierto por el mioceno continental y cuaternario, y que constituye, aproximadamente, lo que hoy designamos con el nombre de páramo del Duero. Al Norte se observan unas afloraciones cretáceas que se alínean desde La Robla, La Vecilla, Guardo, Santibáñez y Barruelo, hasta unirse con el cretáceo, ampliamente descubierto, de la Montaña y del País Vasco. Se debe señalar que el asomo cretáceo más occidental, y asentado directamente sobre el carbonífero, es el de Soto-Riello.

Es interesante para nuestro objeto saber que el cretáceo se presenta en el borde Norte de dicha planicie, casi sin soluciones de continuidad y en contacto con el paleozoico de la cordillera.

Estos terrenos paleozoicos, en la zona contigua al cretáceo, forman pliegues anticlinales, cuyos ejes tienen dirección casi E.-O. En los anticlinales aparecen en el eje o los bancos devonianos o los silurianos, y en

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

algunos tan sólo la caliza carbonífera, como en el río Carun, al Norte de Guardo. En los senos sinclinales de estos pliegues se presenta algunas veces el westfaliense, y discordante con todos ellos es estefaniense. El contacto del cretáceo con el carbonífero es casi siempre en discordancia, aunque en algún sitio, como en el arroyo al Este de Guardo, estén los estratos concordantes, por excepción. En el contacto hemos podido ver en alguna parte los bancos cretáceos casi horizontales, y los carboníferos verticales, y en otros sitios con discordancia angular muy variable.

Sánchez Lozano halló, en Cervera de Pisuerga, el carbonífero debajo del cretáceo, constituído allí por arenas blancas y coloradas de granos cuarzosos con arcillas y con intercalaciones de lechos de cantos rodados de cuarzo. El carbonífero se cortó a los 263,50 metros de profundidad y se hallaron cuatro capas de antracita (5 a 8 % de materias volátiles) de 1,60, 0,53, 1,00 y 0,70, a profundades comprendidas entre 275 y 350 mts.

Con estas circunstancias geológicas se ha planteado a los geólogos y mineros un problema de geología muy interesante; si los pliegues hercinianos de los terrenos paleozoicos, casi siempre isoclinales y que guardan en sus senos depósitos hulleros siguen hacia el Sur por debajo de los terrenos estefanienses, cretáceos, terciarios y cuatenarios (formados éstos únicamente por transgresiones sucesivas, sin que se presente ningún accidente importante que haya hundido los depósitos con carbón a profundidades que hagan a éste inexplotable), o si la línea casi recta, neta, de separación del paleozoico que termina en el westfaliense con los terrenos más modernos, indica la presencia de una gran subsidencia o falla que ha hundido el labio meridional, dejando emergido el septentrional. En este último caso, en la zona hundida hicieron intrusión, primeramente, los depósitos estefanienses de algún sitio, después el mar cretáceo y después los terrenos modernos.

Con los sondeos de Cistierna y de Boñar se ha querido conocer la prolongación de la cuenca de Sabero, y ninguno tuvo buen éxito; en el primero no se acabó de atravesar a 700 mts. de profundidad un conglomerado moderno, y en el segundo se hallaron los terrenos antiguos, pero no cabe duda de que conviene atravesar con sondeos toda esta cuenca hasta determinar sus límites explotables.

Juzgamos que, por lo menos, se deben realizar 10 sondeos de la citada profundidad, ubicados después de realizado un profundo estudio geológico y, a ser posible, geofísico. Representan unos 15 millones de pesetas.

Hay que tener muy en cuenta que en Sabero existe un excelente carbón de coque con 20 a 22 % en materias volátiles.

Las investigaciones de carbón al Sur de la llamada falla del Guadalquivir, ha sido objeto de preocupación constante para los ingenieros y geólogos. Hay que considerar lo que representaría para la economía del país tener asegurado el consumo de toda la región central andaluza de España, hoy deficientemente abastecidad con las cuencas de Puertollano, cordobesas y sevillanas, y que necesita del carbón asturiano para completar su abastecimiento.

En Andalucía y en la provincia de Badajoz se observan, en Villanueva del Río, Peñarroya y en otros sitios, como Los Santos, Llerena, Alanís, Guadalcanal, San Nicolás del Puerto, Burguillo, NE. de Zafra, etc., manchas carboníferas que fueron respetadas por la erosión, aunque, a excepción de las dos primeras, las demás sólo sean retazos muy atormentados, a veces, con capas de carbón muy dislocadas, pero que son testigos que respetó la erosión para indicarnos claramente la extensión grande que alcanzó el carbonífero.

Todas estas cuencas forman sinclinales oblongos y sus ejes están orientados de NO. a SE., o sea la misma dirección que llevan todos los pliegues hercinianos que se estrellan en la falla del Guadalquivir. En el situado más al NO., aunque existe el Culm, no parece el carbón en el distrito metalífero de Linares- La Carolina, como hemos indicado. Se presenta desde Bailén a Torrecampo. El segundo pliegue es el importantísimo de Peñarroya. Al SE. el accidente es más bien un sinclinorio con anticlinales intermedios, lo que da lugar a que las capas presenten en esta zona sinuosidades bien puestas de manifiesto en los trabajos de explotación. Los estratos son del tramo westfaliense y se apoyan en el dinantense. Está rodeada esta cuenca por todas partes de terrenos antiguos, pero cerca del Guadalquivir se presentan grandes dislocaciones, anuncio de un gran accidente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El tercer sinclinal parece más ancho y se extiende desde Almodóvar del Río hasta cerca de Zafra, y hoy no restan del mismo, a causa de la activa erosión, más que trozos dispersos de carbonífero, algunos, con carbón. Corresponden a este sinclinal todas las manchas citadas al principio de este capítulo, con exclusión de las dos primeras.

La cuenca de Villanueva del Río forma un sinclinal al SO. de los anteriores, que cubre un seno del cambriano que lo bordea por todas partes menos por el Sur, donde la disloca y trastorna la falla del Guadalquivir y que, probablemente, por este accidente está única al Sur del río. La edad de los estratos de esta cuenca corresponde desde el westfaliense hasta el estefaniense superior. En este sinclinal la rama NE. está suavemente tendida, y en la SO. los bancos se encuentran muy empinados.

Muchas opiniones se han formulado sobre la falla del Guadalquivir. Todas parecen coincidir en la prolongación de los estratos hulleros por debajo de los terrenos sedimentarios. Hens y los geólogos alemanes consideran que la línea tectónica del Guadalquivir es debida a un pliegue uniclinal con estiramiento y, tal vez, rotura; Gentil y los geólogos franceses suponen que los estratos paleozoicos se ocultan plegados suavemente bajo las formaciones más modernas, es decir, que no hay interrupción en las alineaciones estratigráficas entre las que se presentan en la Meseta Central al descubierto, con las que se deben presentar en las cuencas que se suponen existen por debajo de los terrenos modernos del valle del Guadalquivir, o sea que no hay verdadera falla.

Los geólogos españoles antiguos fueron los que definieron la falla del Guadalquivir. Hernández-Pacheco manifiesta que la falta de cordillera marginal en el craton ibérico es razón de su existencia, y considera que en la Sierra de Córdoba y en Despeñaperros es patente la falla, pero que ésta pasa a pliegues isoclinal o sin rotura en otros parajes o a un sencillo hundimiento o sumersión de ejes de los pliegues hercinianos en otras partes, como en la provincia de Sevilla.

Carbonell ha podido comprobar en la Sierra de Córdoba, que los estratos paleozoicos han sido cortados por una falla paralela a la dirección media del Guadalquivir, con un descenso de los estratos de unos 400 metros.

Los estudios sísmicos y gravimétricos parecen poner de manifiesto la existencia de la falla. Perfiles geofísicos hechos en Tocina y Alcalá del Río por García Siñériz, revelan disminución de resistividades hacia el Sur, que supone debidas a un buzamiento rápido hacia este rumbo del substratum paleozoico, con gran espesor en esta parte de los terrenos terciarios y modernos.

Es, por consiguiente, muy sugestiva idea la de atravesar los terrenos que cubren el valle bético al Sur de la falla del Guadalquivir para reconocer si debajo de los terrenos triásicos, terciarios y modernos que los forman se presenta la prolongación de los sinclinales carboníferos que se observan en la Meseta. Por tanto, se impone un plan de investigación de gran amplitud por procedimientos geofísicos y por sondeos.

Esta investigación ha sido iniciada desde hace tiempo por el Instituto Geológico y por algunos particulares, pero sin acometerse a fondo y sin que hasta ahora se haya llegado a encontrar el carbonífero en sitio conveniente de la margen izquierda del Guadalquivir.

Ha sido verdaderamente interesante el sondeo de Bujalance, que aunque no encontró el carbonífero, arrojó mucha luz sobre la estratigrafía de la región. En él cortaron 301 mts. de mioceno, formado principalmente por areniscas y arcillas y en la base por un conglomerado, y después se atravesó el trías con espesor de 160 mts. y se llegó, por último, al cambriano.

De este sondeo se dedujeron varias conclusiones, muy interesante: 1.ª, que el mioceno tiene formaciones continentales, salobres y marinas, que indican muchas transgresiones; 2.ª, que el trías no es el Keuper característico de la región bética, sino un terreno detrítico y no formado por desecación, y 3.ª, que el trías no tiene gran espesor, solamente unos 160 mts. Cabe la posibilidad, después de ver los resultados de este sondeo y de haberse cortado con él un anticlinal cambriano, que al NE. o al SO. del mismo se puedan encontrar sinclinales hulleros en la misma forma que se presetan en la Meseta.

El Instituto Geológico tiene proyectados dos sondeos en esta zona; uno, en el paraje Belmonte Bajo, y otro, en término de Cañete de las Torres, y creemos muy interesante se realicen cuanto antes.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Han llevado a cabo el Estado y particulares gran número de investigaciones, pero muchas de ellas, como las efectuadas en la cuenca del Vial, no acometían el problema fundamental de la existencia del carbonífero en el labio Sur de la falla del Guadalquivir. En conjunto, se debe buscar en muchos sitios el deseado carbón. Juzgamos que para llegar a una convicción en el problema planteado, se precisará, por lo menos, efectuar 25 sondeos de 800 a 1.000 mts. de profundidad, lo que representa 20.000.000 de pesetas.

De modo insólito rasgan los terrenos mesozoicos de las provincias de Cuenca y de Valencia unos estratos paleozoicos, entre ellos el carbonífero, en el término de Henarejos, de la primera de las provincias citadas, a 140 kilómetros de Valencia, en una reducida extensión (20 hectáreas) y que ha dado lugar a una pequeña explotación de carbón.

Se trata de un anticlinal del estefaniense, ligado, sin duda, al armazón paleozoico de la Meseta Central. Está sobre el devoniano, que también aflora, y en donde los señores Arsuaga y Zaloña han hallado fauna característica. Está cubierto el carbonífero en las dos ramas del anticlinal por el trías en posición francamente discordante.

Hoy se hace una explotación rudimentaria, y juzgamos que este coto, por la calidad de su carbón, por su situación geográfica y por la estructura geológica, debe ser objeto de explotación más activa.

La Empresa Nacional «Adaro» ha hecho sondeos que han llegado al carbonífero y han cortado vetas y nódulos de carbón.

Es preciso reconocer aún más esta cuenca y creemos que con cuatro sondeos bien ubicados, de unos 1.000 metros de hondura máxima, se podrá llegar a conocer la importancia de esta cuenca.

En los Pirineos, en su zócalo, se presenta el carbonífero formando fajas alineadas según la cordillera desmantelada por la erosión; todas ellas quebrantadas y trastornadas. En San Juan de las Abadesas, se explotó hulla. Hoy está agotada la cuenca, aunque estudios geológicos posteriores parecen aconsejar hacer algunos reconocimientos.

La cuenca del Plá de San Tirs, ha sido muy atormentada y constituye como un jirón del carbonífero. El carbón está muy triturado y sólo existe una veta dentro de la capa de carbón aprovechable. Una central térmica de energía eléctrica situada junto a la cuenca trató de obtener rendimiento de este carbón.

La cuenca pirenaica que se conserva más sana y en donde el carbón existente allí es objeto actualmente de explotación, es la cuenca de Eric-Castell; está constituída por un anticlinal en cuyo eje se formó una grieta por donde hicieron su aparición los meláfiros. La cuenca yace sobre el devoniano, y según Dalloni en ella se encuentran los dos pisos wetsfaliense y estefaniense. La flora que hemos podido examinar es del último de los citados tramos. Sobre el carbonífero se apoya el permiano y, cerca de éstos, el trías, en donde están representados sus tres tramos.

Entre los Distritos interesantes de España no podemos por menos de considerar la cuenca lignitífera de Teruel, por su gran extensión y cubicación y porque de ella se extrae un carbón muy bueno. El estar situada en el corazón de España, lejos de los mercados, ha sido causa de que hasta ahora no se haya explotado con intensidad, pero tiene gran porvenir. Hoy está en comunicación con Zaragoza por el ferrocarril de Utrillas, y la Empresa Nacional «Calvo Sotelo» va a poner en relación directa con el mar los carbones de Ariño, Andorra, etc., por medio de un ferrocaril que está construyendo.

En la cuenca de Teruel, los movimientos pireanicos, que se cree tal vez tuvieron su iniciación en fase neokimérica, por haberse observado ciertas discordancias de los sistemas jurásicos y cretáceos en la región de Utrillas, debieron alcanzar desarrollo grande en el eoceno y debieron seguir en la aurora del mioceno, fases neolarámica y sávica, respectivamente, ya que se ve algún anticlinal, como el de La Pinarosa o Albalate, que tiene clara su prolongación en el oligoceno.

Estas conmociones produjeron una serie de anticlinales, en general, con dirección NO.-SE., paralelos a la Cordillera Ibérica, y que han sido causa de que hayan aparecido, en la superficie a cerca de ellas esas cuencas linitíferas que estuvieron cubiertas por terrenos más modernos y que aún lo están en buena parte.

Estos anticlinales, cuyos ejes hemos dicho tienen dirección NO.-SE., se soterran hacia el SE. Los situados más al SO. cambian un poco la dirección, tornan la de O.-NO.-E.-SE., y el de Castellote tiene casi dirección E.-O.

Los anticlinales reconocidos de NE. a SO., son los

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

siguientes: Urrea, Sierra de Arcos, Alloza, Olmos, Gargallo, Montalbán, Utrillas, Valdenonejos, Santa Olea, y otro pliegue más al Sur, al N. de Más de las Matas.

La región de Lillo y de Portalrubio es interesante, aunque de tectónica sencilla, y no está incluída en la zona de los anticlinales que acabamos de considerar.

Los anticlinales se presentan, generalmente, con la misma estructura. En la rama NE., los estratos están empinados, casi verticales, como en el interesante de Sierra de Arcos, y por el contrario, las capas en la rama Sur aparecen menos inclinadas y bastante normales hasta que se soterran por debajo de los bancos oligocenos.

Estos anticlinales están separados por sinclinales cubiertos por el oligoceno, y éste debe ir profundizando, en cada uno de ellos, de NE. a SO., hasta que cerca del eje del anticlinal inmediato de más al Sur, se empina violentamente para formar la rama Norte, que hemos dicho era casi vertical. Es dato muy interesante para la investigación del carbón.

El carbón se halla en dos horizontes, en una formación de faices urgoniana, muy especial, que Chofat llamó «Española», entre marina y continental, y que corresponde al grupo aptense-albense.

Esta cuenca, que se puede decir que está en su período de iniciación, a pesar de los trabajos de las minas de Utrillas y otras, será de gran porvenir en cuanto se pueda dar mejor salida al carbón, y cuando se transforme el lignito en otros productos que lo valoricen, como intenta hasta ahora la Empresa Nacional «Calvo Sotelo». La extensión es muy grande, no sólo porque alcanza hasta los puertos de Beceite, sino porque debe estar, en gran parte, oculta bajo terrenos más modernos.

El carbón, es muy bueno, aunque tiene el inconveniente de contener 2,5 % de azufre, término medio. Existen carbones con 50 % de materias volátiles, es decir, lignitos; pero también los hay con 35 a 40 % de materias volátiles. Decía Adaro que se podían considerar como hullas semigrasas.

En resumen, la estructura tectónica del distrito lignitífero de Teruel está constituída, en líneas generales, por una serie de anticlinales ibéricos con asomos en los ejes de terrenos secundarios y, en algún caso, del devoniano, separados por sinclinales recubiertos de terrenos terciarios, principalmente, del oligoceno. Esta disposición estratigráfica nos señala el camino que debemos seguir para el reconocimiento de esta interesante cuenca. Es indudable que las ramas del Sur de un anticlinal, en donde en muchos casos se presenta el infracretáceo, con su paquete de capas explotables, tenga su prolongación en la rama Norte del pliegue más al Sur. Ahora bien, como la forma de estos sinclinales, según hemos indicado antes, se presenta de modo que la rama Norte del sinclinal (Sur del anticlinal) tiene buzamiento menos inclinado, más suave que en la rama Norte y, además, menos quebrantado que en la rama Sur del sinclinal, se deduce que las investigaciones en esta zona deben consistir en realizar sondeos en los senos sinclinales oligocenos, y con objeto de que la profundidad a que se corten las capas de lignitos sea la más pequeña posible, y, por tanto, en mejores condiciones de explotabilidad, deben aproximarse las perforaciones al eje del anticlinal situado más al NE., en donde las capas están más echadas y más normales.

Como los ejes de los anticlinales se soterran hacia el SE., parece indicado que las investigaciones se hagan en la parte más al NO. de los sinclinales; pero juzgamos, por lo que indican los asomos desperdigados de terrenos más antiguos, que no debemos fiarnos del todo de la citada circunstancia, pues es posible que los ejes hagan ondulaciones y existan algunas cúpulas intermedias. No se puede negar que al NO. los anticlinales muchas veces terminan en forma periclinal y en otros en forma de cúpula. Las observaciones locales, en cada caso, darán indicaciones interesantes que, con las de carácter general que acabamos de indicar, servirán para elegir las ubicaciones de los sondeos, que, de tener buen éxito, tanto han de aumentar las posibilidades de lignito en la cuenca de Teruel.

Los Ingenieros De Pedro, García Fuentes y Gálvez-Cañero, en un trabajo que les encomendó el Instituto Geológico, recomendaban un sondeo en el oligoceno que se apoya en la cúpula anticlinal de Pinarosa, al Norte de la Sierra de Cerezos, o sea, al NE. del anticlinal de Los Arcos; otro en el oligoceno al SE. de Ariño, en el sinclinal entre los anticlinales Los Arcos y Alloza, y otro, en la zona comprendida entre los anticlinales. Los Olmos y Gargallo, en la zona de Crevillén, en donde parece que el oligoceno constituye un ligero recubrimiento. El Instituto Nacional de Industria, siguiendo estas

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mismas consideraciones, lleva a la ejecución unos sondeos en el oligoceno que se apoya en el anticlinal de Alloza, con vistas a crear un gran Distrito lignitífero en el triángulo Ariño-Andorra-Crevillén.

Con las normas que hemos dado se pueden buscar más ubicaciones en las zonas sinclinales en las que se supone la existencia de carbón; se debe realizar en el oligoceno que cubre las formaciones secundarias de Ariño y Andorra.

Juzgamos también muy interesante en la región de Utrillas el buscar el carbón por debajo del cenomanense de la Loma de San Just, que aparece en sinclinal entre los anticlinales de Utrillas y de Valdeconejos. Tal vez la profundidad en la loma misma sea grande para encontrar carbón explotable; pero, según creemos, como las capas buenas de Utrillas pasan por debajo de la Loma, se deben hallar éstas en el anticlinal de Valdeconejos, en donde ya se observan las capas de los niveles superiores.

Las investigaciones en busca de la prolongación de la cuenca hacia Beceite las consideramos más aleatoria, porque, los indicios que allí existen de carbón nos parecen que corresponden a cuenquecitas rotas, resquebrajadas, aunque no quitamos la posibilidad de que se puedan hallar algunas minas explotables, pero siempre tendrán carácter circunstancial y local.

En definitiva, este distrito de gran cubicación, convenía ponerlo pronto en marcha con intensidad, y es preciso investigarlo con sondeos de 600 a 700 mts. para determinar bien las zonas ricas en carbón. Se debe empezar en los sitios en donde aquél tenga fácil salida, ya sea por facilidad de transportes, ya por estar próximas a fabricas donde se pueda utilizar carbón «in situ». Aunque hoy la industria privada o estatal realiza investigaciones, no cabe duda de que el Estado tiene que reconocer también algunos sitios en donde al particular le faltan medios o donde el buen éxito de la investigación sea muy aleatorio para hacerlo sólo por su cuenta. Proponemos que se hagan 12 sondeos que representarían unos 6.000.000 de pesetas.

Repartidas por toda España existen otras muchas cuencas lignitíferas, entre las que destacan sin poderse comparar por su extensión con la de Teruel, la de Berga y la de Mequinenza.

La cuenca de Berga está delimitada y ocupa dos sinclinales cretáceos separados por un anticlinal cuyo eje sigue aproximadamente la dirección del río Llobregat y en donde asoma el terreno triásico. El carbón se presenta en la parte inferior del garumnense alternando con calizas arcillosas, margas grises y bancos de caliza. El carbón es bueno y las cajas son algo estrechas. Existe una importante explotación y realmente se conoce bien esta cuenca y tanto Urrutia como Marín y Balseiro, cubicaron más de 50.000.000 de toneladas. Fuera de los reconocimientos ordinarios en esta clase de explotaciones, no creemos se precise realizar labores de investigación de importancia.

La cuenca de Mequinenza, en las provincias de Zaragoza, Lérida y Tarragona, se presentan en el oligoceno inferior en forma casi horizontal con un ligero buzamiento al Oeste. Existen muchas minas en esta región, cuya explotación adquiere gran intensidad en los años de guerra en los que el carbón aumenta su precio. Se calcula existen unos 50.000.000 de toneladas y el carbón tiene unas 5.000 calorías. Sin embargo, hay minas que se explotan con continuidad. El carbón tiene el defecto de tener mucho azufre, llega al 8 ó 10 %. La extensión de la cuenca está bien reconocida, y no creemos necesario que el Estado haga investigaciones en esta comarca.

Es de interés la cuenca gallega de las Puentes de García Rodríguez, a 40 Kms. de El Ferrol. Es una cuenca que no ha sufrido aún los embates de la orogenia, y el carbón, por lo tanto, sólo ha sufrido destilación natural lenta. Según la clasificación de Esdman, se presentan en estos carbones espropelitas, lignitos de humos (Humusgestein) y liptobiolitas con mucha semejanza con las clases alemanas. Recubre a la cuenca una capa aluvial de tres a cinco metros, por lo que la explotación se puede hacer a cielo abierto. El carbón contiene 5 % de materias volátiles con 18 % de alquitrán y 3.700 de potencia calorífera.

Esta cuenca la explota hoy el I. N. I., donde ha instalado una gran central térmica de importancia, indicando el camino que se debe seguir en la explotación de ciertas cuencas de carbones de inferior calidad. No creemos sea necesaria hacer en ella el reconocimiento, pues los ha llevado a cabo con intensidad la Sociedad explotadora.

Las cuencas oligocenas de Baleares que abastecen de carbón a aquellas islas, las de Sosis, la de Calaf, en Cataluña, la miocena de Alhama de Murcia, la de Las

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Rozas, en Santander, y la de Cestona, en Guipúzcoa, son de poca importancia y en ellas los reconocimientos deben correr a cargo de sus propietarios, pues no alcanzan interés nacional.

Consideramos necesario suponer para investigaciones lignitíferas en toda España, aparte la de Teruel, un gasto de 5.000.000 de pesetas.

CAPÍTULO IV

COBRE

Como hemos dicho, el mineral de cobre no abunda en la Naturaleza, aunque se puede decir que el mercado está normalmente satisfecho. Los precios, después de la guerra, ofrecieron oscilaciones alcanzando en los primeros cuatro meses de 1949 el precio de 23 centavos por libra, pero bajó a 17 centavos en julio. En diciembre era de 18 centavos. A pesar de haber alcanzado precio tan excepcional, la producción en el mundo bajó de 2.261.000 en 1948 a 2.188.000 en 1949. Esta diferencia de producción fué debida exclusivamente a los Estados Unidos. En España, desgraciadamente, se precisan, por lo menos, 2.200 toneladas de cobre al mes y no producimos nunca la mitad de lo que necesitamos, lo que nos obliga a importarlo, con el correspondiente daño en nuestra economía.

Consideramos que el mineral de cobre no abunda en la Naturaleza y que, por consiguiente, las actuales minas de este metal tienen garantizados precios favorables como el actual y que convendría investigar nuestro suelo en busca de tan preciada substancia.

La tectónica de España complicada y varia, ha traído como consecuencia en los yacimientos minerales cupríferos diferencias de constitución y naturaleza, como debidos a génesis distintas.

En un trabajo de síntesis y de orientación como es éste, sólo nos podemos ocupar de los criaderos de cobre más interesantes; de aquéllos que, por su historia o por su formación, juzgamos que todavía tienen importancia.

En principio, en los criaderos de cobre de España, se separan dos grandes grupos, que genéticamente se diferencian mucho. Se produce esta separación con ocasión del proceso de consolidación del magma. Una gran parte del cobre se marcha con el sulfomagma y otra parte queda en el magma silicatado. El cobre de este último se principia a diferenciar en el período pegmatítico-neumatolítico y se precipita del todo en el período hidrotermal. A este género de criaderos corresponden los filones de calcopirita y de bornita que se observan en muchas regiones de España y todos aquéllos, con gran variedad de paragénesis, observada en los yacimientos de cobre con casiterita, mispiquel, cinc, plomo, barita, etc.

En los filones de cobre éste está depositado en forma de calcopirita o de bornita y, por proceso secundario, por cementación, se transforma, dando lugar a causa de la acción de oxígeno del aire, a sulfatos y, después, se alteran en sulfato de hierro y sulfato de cobre —la calcosita es la especie más común en esta formación de enriquecimiento—. También es común la covelina. Por último, por la acción del ácido carbónico, se forman los carbonatos de cobre: malaquita y azurita.

Este grupo de criaderos filonianos, a veces de cobre gris, representante este último período de diferenciación, no ha llegado a constituir en ningún sitio de España un distrito importante de fama; pero sí conocemos minas que tienen mucho interés y que bien merecen una investigación a fondo. Suelen tener el inconveniente la investigación de estas minas filonianas, de que muchas de ellas fueron en parte explotadas y que hoy están aguadas, lo que trae consigo que no se puedan reconocer, ni siquiera recoger una impresión sobre su riqueza, sin hacer un fuerte desembolso para desaguarlas, lo que representa un gasto a fondo perdido en los casos más favorables, de lo menos, 500.000 pesetas.

Grupos de estas minas de interés por su historia y antecedentes hay varios en España. Abundancia y otros (hoy en explotación) en Badajoz, los de Monterrubio (en Burgos), los de Cerro Muriano, Almodóvar, Alcaracejos, Hinojosa del Duque, los de la zona de Posadas y otros varios de la provincia de Córdoba, que son indicaciones bien claras de la actividad metalogénica de Sierra Morena, las minas de Darnius y Ribas, en Gerona, las de Guejas, Olías y Jerez del Marquesado, en Granada, Molina de Aragón, en Guadalajara, Sierra de Aralar, en Guipúzcoa, los yacimientos filonianos interesantes de Nerva, Valverde del Camino, Encinasola y otros de la provincia de Huelva, los de Sallent, en Huesca, Andújar, en Jaén, Cármenes y Villamanín, en León, los de Civiles, en Lérida, Viniegra y

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Mansilla de la Sierra, en Logroño, Changoa y Elizondo, en Navarra, Aramo y Cabrales, en Asturias, Carracedo, Pando y Cervera del Pisuerga, en Palencia, Reinosa, en Santander, El Espinar, en Segovia, Peñaflor, en Sevilla, Calcena y Muñerreluega, en Zaragoza, y otros varios.

Además, en los distritos mineros plomíferos se encontró cobre, sobre todo, en la parte de los filones, que fué en muchos de ellos explotado. Se presentó así en Sierra Alhamilla, Cabo de Gata, Sierra Almagrera, El Horcajo, Almadén, Osor, Hiendelaencina, Linares, Guadalcanal, etc.

La investigación de cada grupo de éstos necesita un plan especial y, como son minas aisladas que no forman grandes cotos, el Estado debe proteger, amparar y premiar a la iniciativa privada que quiera buscar solución a los problemas de investigación planteados en cada uno de ellos. La forma de un anticipo reintegrable por mitad o el 60 % del importe de desagüe y primeros gastos, podría reportar beneficios a la economía nacional. Emplear 6.000.000 de pesetas el Estado en ayudar a los propietarios de las minas que contribuyan también con su dinero a la investigación, nos parece que puede dar resultados excelentes.

La gran afinidad del azufre con el cobre motiva que mucho del cobre metálico se presente en el sulfomagma, aunque proporción pequeña, porque la mayor parte del azufre se une al hierro que suele predominar en los magmas.

Los criaderos de masas piritosas del conocido distrito de Huelva-Sevilla pertenecen a este grupo de formación en el sulfomagma, en la región de las plesiocapas, según Schneider, en nivel subvolcánico y en período hidrotermal.

Se observan en esta región del SO. de España corridas hipogénicas de diabasas y pórfidos cuarcíferos, con dirección casi E.-O., en relación con abundantes yacimientos piritosos, y muchos de ellos puestos al descubierto por la erosión. Hace suponer esta profusión piritosa que deben existir otras masas que no afloran, y que se deben multiplicar las investigaciones geofísicas y de sondeos para acrecentar nuestro tesoro cuprífero.

En el Congreso Geológico de Wáshington, de 1933, las reservas mundiales de piritas se estimaron en 907 millones, de los cuales se asignaban a España 485 millones, o sea el 53,4 %. De éstas se suponían a la vista 273 millones, de modo que se puede considerar como producción indefinida, pues si se explotaran tres millones de toneladas al año, habría para cerca de un siglo de toneladas ya reconocidas. De modo que la investigación para reconocer sólo pirita de hierro no hay necesidad de hacerla.

Lo que sí interesa mucho es reconocer las masas piritosas que contengan más de 0,50 a 0,60 de cobre. No podemos negar que existe agotamiento en profundidad de las piritas ferrocobrizas. Ahora bien, según nuestros estudios, existen en el distrito de Sevilla-Huelva, por lo menos, las siguientes cantidades de pirita ferro-cobriza reconocidas sin explotar:

	Toneladas
Ríotinto	4.000.000
San Plantón	700.000
Concepción	700.000
San Telmo	800.000
Castillo de las Guardas	600.000
Total	6.800.000

Insistimos en que hay que investigar la existencia de nuevos criaderos piritosos con cobre, examinando bien las corridas de los actuales y sus probables prolongaciones. Las masas piritosas se ordenan según cinco fajas, que son las siguientes, de N. a S.:

1.ª Criaderos de Cueva de La Mora, Aguas Teñidas.

2.ª Castillo de Las Guardas, Peña del Hierro, Margarita, Poderosa, Esperanza, San Miguel, Lomero, Payato, San Telmo, El Carpio y minas al N. de Paymago.

3.ª Ríotinto, La Zarza, Perrunal.

4.ª Buitrón, Tinto, Santa Rosa.

5.ª Sotiel-Coronado, La Torerera, Tharsis, Herrerías, Cabeza de Pasto, San Domingos (Portugal).

Si consideramos que las masas piritosas han sido presentadas al hombre gracias a la denudación activa de las partes altas que la recubrían, conviene reconocer las zonas que se conozcan bien erosionadas, huyendo de aquéllas en donde existan filoncillos, bien formados en grietas manifiestas y que parecen indicar que el batolito de donde procede está lejos.

Conviene relacionar, en los trabajos de investigación, las masas quee se buscan con otras conocidas afectadas, según el estudio geológico, por los mismos fenómenos tectónicos y magmáticos, y, claro es, que, buscando esta relación con las piritas ferro-cobrizas de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Ríotinto, San Telmo, San Platón, etc., y no con las que tienen poco cobre, como Tharsis, Perrunal, etc.

No creemos que exista relación alguna de las masas piritosas con los yacimientos de manganeso y de jaspe, que creemos más modernos.

Para la investigación hay que guiarse por los asomos de rocas hipogénicas en cuya proximidad o en cuyo contacto suelen hallarse los criaderos, y sabemos que en el distrito de Huelva-Sevilla se encuentran en relación los criaderos, con porfiritas y diabasas.

Juzgamos, por tanto, que se debe realizar un plan de investigación de masas piritosas con cobre, precedida, si es posible, por el empleo de procedimientos geofísicos.

De momento proponemos perforar, por lo menos, 30 sondeos con profundidades de 200 a 300 mts., que representan un desembolso de unos 5.000.000 de pesetas.

Un tercer grupo de yacimientos de cobre en España lo constituyen las areniscas impregnadas de minerales metálicos, como se observan en Biel (Zaragoza), Los Arcos (Navarra), Santa Eulalia de Gállego y Labata (Huesca), etc. y en los alrededores de Tetuán, en Marruecos. Se trata de criaderos sedimentarios, pero, según Roso de Luna, no fueron depositados el cobre y otros minerales por proceso directo de sedimentación, sino que por oxidación se disolvió el primitivo criadero de cobre y las aguas infiltradas con sales metálicas en disolución en las areniscas oligocenas en los citados criaderos peninsulares y en las areniscas triásicas en los marroquíes.

Las minas peninsulares son pobres y no se ha hallado todavía un procedimiento de concentración con lo que pueden beneficiarse con rendimiento. La investigación de estos criaderos debe consistir en buscar el procedimiento económico conveniente de tratamiento de las menas, es decir, llevar a cabo una labor de laboratorio muy detenida.

CAPITULO V

PLOMO

La minería del plomo es la peculiar, la castiza de España. Fué nuestro país en épocas anteriores el principal productor del Mundo. En el III milenio, antes de Jesucristo, se calificaba a Iberia como rica en plomo y en estaño, y en el año 1890 se produjo en España el 56 % de la producción mundial. Se extrajeron en este año de las minas españolas cerca de medio millón de toneladas y se obtuvieron 370.000 toneladas de plomo metal.

Por razones de todos conocidas la minería del plomo descendió lamentablemente y, en el año 1940, se produjeron sólo 42.391 toneladas de metal plomo, o sea, el 2 % de la producción mundial, y en 1949 bajó aún más la producción, fué de 27.364 toneladas de plomo metal.

Para nosotros no tiene duda de que es posible un resurgimiento de la minería del plomo en España, porque estamos convencidos de que en los distritos españoles de renombre existen grandes cantidades de plomo, que antiguamente no se podían tratar, si no se explotaban los minerales muy ricos y se abandonaban todos los demás. Hay además rellenos en las labores abandonadas y escombreras donde se pueden extraer aún muchas toneladas de plomo. En un cálculo muy por bajo, y tratando sólo de las escombreras más importantes, calculamos se pueden sacar más de 300.000 toneladas de plomo-metal.

Además, en los mismos distritos no se hicieron grandes trabajos de reconocimiento, y creemos firmemente que existen nuevos filones aún sin tocar y que en los antiguos hay zonas aún explotables.

En relación con estas ideas vamos a explicar cómo creemos se debe hacer la investigación en los principales distritos españoles.

Linares - La Carolina

En Sierra Morena se encuentra la rica provincia metalogénica plumbífera Linares-La Carolina, que tiene su prolongación hacia el Oeste, en las provincias de Córdoba y de Ciudad Real.

Este campo metalífero ha sido objeto de activa explotación desde hace muchos años, y, aunque presenta caracteres bien definidos, y lo constituyen, en general, haces de filones limpios, de fracturas netas, tienen algunas características que complican bastante su investigación. Los filones son de clara fase hidrotermal; no se observan en ellos, ni en profundidad, ni lateralmente, vestigios de diferenciación en las fases ortomagmática y pegmatítica-neumatolítica.

Lo más interesante de esta provincia es que es ex-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

clusivamente plumbífera, pues hasta la plata, que siempre acompaña a la galena, tiene ley reducida en Linares de 200 a 225 gramos por tonelada, por lo que su extracción es poco remuneradora.

En Linares sólo se presenta el mineral en fracturas claras, en verdaderos filones. En La Carolina, además de los filones aislados, se observan varios juntos formando haz, como en El Centenillo, y existen bastantes «stockwerks». En la constitución de los filones también se señalan diferencias. Tienen los filones de La Carolina casi el doble de plata que los de Linares, y en éstos hay algo de blenda que no hay en La Carolina. Todas estas diferencias marcan una tectónica y una microtectónica distintas, que nos parecen representar edades diferentes de los yacimientos. A nuestro juicio la zona de La Carolina ha sufrido un rejuvenecimiento alpino, que debió sufrir menos la región de Linares. Tal vez debió provocar esta joven conmoción nuevas grietas, que se debieron producir en análogas condiciones a como se formaron las hercinianas.

En la región de Linares-La Carolina, parte del granito y terrenos anteriores están cubiertos por sedimentos triásicos y terciarios, que se habían investigado poco. La Empresa Nacional «Adaro», considerando que no había razón alguna para que los filones hallados en los terrenos donde asoma a la superficie el granito y el paleozoico no tuvieran su prolongación en estos mismos terrenos, cuando fueran cubiertos, después del movimiento herciniano, por depósitos triásicos, y después del alpino por depósitos terciarios, ha emprendido una serie de sondeos, de los cuales lleva ya realizados quince, en los que ha hallado grietas filonianas.

La investigación en Linares-La Carolina, se debe realizar con dos fines: el de investigar los criaderos en profundidad, aunque se haya llegado a honduras de 700 a 800 metros, y el de investigar las regiones cubiertas por terrenos secundarios y terciarios en la forma que ahora lo hace la Empresa Nacional «Adaro».

El reconocer los yacimientos de plomo por debajo de los terrenos modernos se consideró desde un principio que era por donde se debían empezar las investigaciones, y que éstas se debían efectuar en dos zonas. Una es la mancha triásica de la estación de Baeza, situada al SE. de la línea Vadollano-Linares, valle inferior del río Guardiel, y la otra, en la margen derecha de este río, en las alturas de La Muela, en donde se presentan depósitos triásicos y miocenos. Se proyectaron al principio en la primera zona tres sondeos: uno, junto al molino de Los Arquillos; el segundo, en la confluencia de los ríos Guadalén con el Guarrizas, y el tercero, equidistante de los otros dos. En la segunda zona se situó uno en el kilómetro 3 de la carretera de Bailén a Linares, y los otros dos, con relación a éste, uno en el kilómetro 3 de la carretera de Bailén a Linares, y los otros dos, con relación al mismo, uno a tres kilómetros al Sur y otro a tres kilómetros al Norte. Hasta ahora se han realizado 15 sondeos: cuatro verticales, para determinar el espesor de los terrenos de recubrimiento y 11 inclinados, en los que se han hallado filones con mineralizaciones de calcita, piritas y otros minerales, y en algunos de ellos se han hallado cordoncitos de galena. En el núm. 7, a los 381 mts. de hondura se cortó un filón de 0,85 mts. de capa y 10 centímetros de potencia reducida de galena. Se habían atravesado más arriba vetillas de galena de tres a cinco milímetros de potencia, lo que demuestra el acierto en investigar las provincias metalogénicas de renombre, aunque se considere que se encuentran agotadas.

A estas investigaciones emprendidas por «Adaro» deben seguir otras y, seguramente, habrá zonas en donde se descubran nuevos criaderos de plomo que hagan resurgir el distrito plomífero de Linares-La Carolina.

La Dirección General de Minas y Combustibles ha proyectado, y los trabajos van a empezar enseguida, un gran socavón de 6,5 Kms. de longitud, cuya entrada se ubica en el arroyo Guadalamar, a 6 Kms. de la estación de Baeza. Seguirá en dirección NO. No sólo servirá para hacer amplia investigación dc la zona, sino que también facilitará desagüe en las minas actuales, y al encontrar los filones de las minas que no se profundizaron bastante, puede ser que se encuentren en ellos zonas nuevas que pueden tener gran interés.

Por último, juzgamos que la zona metalogénica de Linares-La Carolina debe tener extensa prolongación al que constituye Sierra Morena.

Los criaderos de La Carolina se extienden por La Solana del Pozo al valle de La Alcudia, en la provincia de Ciudad Real, en donde se explotaron tres grupos importante: «San Quintín», «La Veredilla» y SAN QUINTIN. Tuvieron su auge estas minas en el año 1903 en el que se produjeron 42.000 toneladas, y disminuyó mucho desde entonces; quedó paralizada la explotación

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

del Valle de Alcudia en 1934. En la mina «San Quintín» se explotaron filones con dirección E.-O. y la galena tenía como ley media de 1 kilo de plata por tonelada. Fueron filones muy metalizados con la potencia de hasta 1,20 mts. Se presentaban en columnas de poco ancho. La explotación se ha hecho en región muy reducida y se llegó a profundidades de 700 mts. En prolongación de los filones explotados existen otros vírgenes con iguales características desde el punto de vista geológico que es interesantísimo investigar.

A 12 kilómetros al O. de las minas de «San Quintín» están las de Villagutiérrez, enclavadas, como las de «San Quintín», en el siluriano con muchos asomos eruptivos. El mineral de estas minas es muy rico en plata, de 3 a 4 Kgs. por tonelada. Se trabajaron estas minas hasta 1912. El abandono de esta mina que tantas manifestaciones plomíferas presenta en la superficie es un ejemplo más de los que indicaremos sobre la explotación de los criaderos metálicos, en la que sólo se buscaban filones muy ricos y que en cuanto ocurría la menor dificultad se abandonaba. Debe haber mucho plomo en la zona de estas minas esperando la investigación.

Los filones del Horcajo, con mineral muy rico en plomo y en plata, arman, como los anteriores, en el siluriano. En ellos se halló plata nativa. Los filones en profundidad pierden corrida, potencia y metalización; sin embargo, hubo una buena explotación con una instalación muy importante de desagüe.

En toda esta región existen muchas minas, algunas un poco investigadas y otras explotadas parcialmente, entre las que destaca el grupo de «La Gitana», «La Romana» y el «Hoyo-Nava de Frío» del valle de Alcudia. Toda esta región de Sierra Morena está falta de un estudio concienzudo para formular un plan de investigación completo con la seguridad de que se pondría de manifiesto el tesoro plumífero que allí se encierra.

En Sierra Morena (1), en la provincia de Córdoba, existen importantes manifestaciones plumíferas que son prolongación de las de Ciudad Real y de Jaén. Allí se presentan en la región de Posadas, Hornachuelo y Almodóvar del Río los criaderos de plomo y de blenda que dieron lugar a las famosas minas de «Casiano del Prado», «Consolación» y «El Rincón», «Sierra de Bembezar», «Santa Leocadia», «El Tesoro», «El Injertal» y otras varias, explotadas hace tiempo. En la zona de Villanueva del Duque y de Alcaracejos se encuentran las famosas minas de «El Soldado», «San Rafael», «Demetrio», «Terreras», «Los Ingleses», etc.

Todas estas minas fueron total o parcialmente explotadas, pero existe ancho campo para la investigación. Es un caso análogo al de la provincia de Ciudad Real que acabamos de indicar. En esta región se presentan, además de los yacimientos de plomo y blenda, algunos de cobre muy interesantes.

La mina «Casiano del Prado» fué explotada con intensidad y se caracterizó por su gran riqueza en plata, que llegó, en sitios, a 6 Kgs. por tonelada. Se llegó con las labores a la profundidad de 550 mts. Las labores presentaban, en cuando se abandonaron estas minas, buenas metalizaciones en blenda argentífera. Paralelos a los filones de esta mina se observan otro sin conocer de análogas condiciones geológicas y en una montera, como aquél, de barita. Además, la corrida explotada en «Casiano del Prado» fué sólo de 500 mts. y quedó virgen en más de 1 kilómetro. Creemos que en estas minas hay reservas muy interesantes y que se debía proceder a su investigación y a reanudar la explotación. Además de plomo y de plata que fué explotada, hay mucha blenda, que en los tiempos en que se beneficiaron estas minas no era remunerador el extraerla, pues se pagaba en bocamina a poco más de 36 pesetas.

En las minas de «Calamón» los filones tienen las mismas características, y en ellos predomina la blenda; son muy argentíferos; han excedido de los 6 Kgs. por tonelada. Se llegó a profundidad de 460 mts. Hay todavía mucho mineral reconocido en estas minas sin explotar.

En las minas de Alcaracejos, principalmente en la mina «Mirabueno-Arnau», los filones arman en el Culm y tienen dirección N.-20-E. En ellos se explotó con 2 a 2 y medio Kgs. de plata por tonelada. En las labores superiores no había apenas blenda, pero fué aumentando su proporción a medida que descendían las labores.

En prolongación de esta cuenca en las pizarras deleznables del siluriano y del carbonífero, aunque exis-

(1) Los datos de las provincias de Ciudad Real, Córdoba y Badajoz están en gran parte tomados del magnífico libro de González Llana, «El plomo en España».

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ten manifestaciones plomíferas, los criaderos no son tan ricos y suelen estar enborrascados, pero al llegar al estrato cristalino de la región de Fuente-Ovejuna, se concentran las mineralizaciones en la zona de Aguaga, en donde existen las ricas minas de «Santa Bárbara» y el grupo «Unión» y otras varias interesantes, aunque no tanto como aquéllas.

La mina «Santa Bárbara» fué importante por la potencia metalizada inaudita de su criadero, que llegó, en muchos puntos, a más de 2 mts. Se explotó sólo una corrida de 300 y se llegó a la profundidad de 1.000 metros. La roca varía de naturaleza y consistencia a distintas profundidades, siguiendo estas variaciones la potencia del filón y su metalización. Se trata de columnas muy mineralizadas, y los ingenieros confían en que se encontrarán columnas análogas, por lo que toda esta zona debe ser objeto de investigación muy amplia y bien meditada.

En la mina próxima «Unión» que fué explotada los filones E.-O., siguen, por tanto, la dirección de las líneas tectónicas de la región. Alcanza en sitios filones con buena metalización, pero es bastante menos rica que «Santa Bárbara».

Por último, en la zona de Villanueva del Duque y de Alcaracejos, se encuentran muchas minas interesantes como la magnífica de «El Soldado» y las llamadas «Claudio», «Terreas», «Demetrio» y otras varias.

Además de todas estas regiones de la provincia de Córdoba, en las que se montaron grandes instalaciones para extraer plomo y blenda, sobre todo del primer mineral, existen, como dice González-Llana, otras regiones como Pozo Blanco, Villanueva, Añora y Montero en la extensa zona del río Gato al río Yeguas, en comarca tan agreste y tan difícil, en donde se presentan grandes manifestaciones metalíferas y con caracteres geológicos y dirección de líneas tectónicas, análogas a los de zonas ricas que acabamos de considerar. Todos estos síntomas hacen comprender que debe haber importantes criaderos de plomo con blenda y plata que están esperando que se los ponga de manifiesto con una investigación muy cuidadosa.

Aparte de los criaderos vírgenes, en los mismos que han sido objeto de explotación hay zonas sin reconocer, y algunas abandonadas por considerar inexplotables los criaderos por su poca riqueza, y que, sin embargo, con los procedimientos de preparación mecánica hoy en boga, se podrían obtener beneficios muy interesantes.

En Badajoz, todavía en la prolongación de Sierra Morena, existen los interesantes criaderos de la región de Azuaga, minas «Joaquina», «Llerense», el grupo importante del «Triunfo», «San Rafael», «Linarejos», «Los Zurrones», etc., que fueron objeto de laboreo, sobre todo la «Triunfo», donde se llegó a profundidad de 500 mts., y «Joaquina», donde se explotó un filón potentísimo. También existen minas interesantes en los términos de Castuera, Berlanga, Santa Marta, Garlitos, Hornachuelos, Torrehermosa, etc.; en general, de galenas argentíferas que suelen armar en terrenos paleozoicos y eruptivos.

Se deduce de todas estas descripciones, que si se quiere que vuelva a florecer la industria del plomo, existe la región de Sierra Morena, en las provincias de Jaén, Ciudad Real, Córdoba y Badajoz, donde creemos existen importante criaderos sin reconocer y en donde no se han beneficiado por creerlos inexplotables, y que hoy, con mejores comunicaciones, y sobre todo con la aplicación de procedimientos de flotación para el tratamiento de las menas, lo serían con alto beneficio. Es preciso para ello llevar a cabo un plan de investigación grande que se debe estudiar con mucho detenimiento y que representará una suma que no bajará de los 30 millones de pesetas. Hay muchas probabilidades de buen éxito en esta empresa, pues es casi seguro que se haya dejado tanto mineral de plomo y cinc como el que hasta ahora se han extraído.

Sierra Almagrera

Otra provincia metalogénica, con características muy pronunciadas y que tienen relación con movimientos modernos, la constituye Sierra Almagrera (Almería). Se trata de una serreta de unos 200 mts. de altura, junto al mar, orientada del NE. al SO. y formada por pizarras arcillosas, micáceas y sericíticas, correspondientes al estrato-cristalino (precambriano, de algunos autores). La Sierra constituye un gran anticlinal de tiempos antiguos, rejuvenecido por movimientos neoalpinos.

Estos movimientos neoalpinos, rodánicos o waláquicos deben haber originado la ascensión de un magna que ha pasado, como ocurre siempre, por las fases de todos, separándose el silicomagma, que se ha soli-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dificado, formando un batolito, probablemente, del grupo traqui-andesítico. El resto del magma, en fases ya más avanzadas, principalmente en la hidrotermal, con aguas y gases a presión, ha ocasionado la formación de los criaderos de plomo, cuando las condiciones de presión y temperatura y concentración fueron las convenientes.

Por las dimensiones de los filones y por su metalización de plomo, cinc y barita, parece que la consolidación del magma, y formación del batolito se llevó a cabo en altura subvolcánica (profundidades de 300 a 3.000 mts.) y, como la presión interna predomina en estos casos mucho sobre la externa, la fase hidrotermal, a su vez, predomina mucho sobre la ortomagmática y permatítico-neumolítica.

Se han reconocidos unos 30 filones, que forman unos grupos que se les designa con los nombres del barranco del «Francés», «Pinalbo», «Chaparral» y «Jaroso», ninguno de los cuales está reconocido a profundidad mayor de 190 mts. Además, a estas honduras, alcanzadas con el desagüe de «El Arteal», no se llegaron a cortar todos los filones, ni mucho menos.

La mayor dificultad para la explotación de estas minas está en la existencia de cantidades grandes de agua, muy mineralizada y caliente, que hace el servicio de desagüe sumamente complicado. En el período de desagüe más intenso de estas minas, llegaron a 95 mts. bajo el nivel del mar. Hacía falta desaguar 7.840 metros cúbicos al día.

Brand y Brandeau se dieron cuenta de que todos los filones de la Sierra se comuicaban entre sí, y de que se podría hacer el desagüe por un solo punto; es decir, que había medios de sangrar la Sierra con una sola labor, y ubicaron ésta, no en los filones, sino en el lado seco de la gran falla del Arteal, que antes hemos citado, que hace saltar al mioceno y que es impermeable. Antes se habían hecho muchos esfuerzos en varias minas para su desagüe, pero siempre resultaron insuficientes los métodos adoptados: Como se hacían en un filón determinado, allí acudía todo el agua de la Sierra.

Es, por consiguiente, en estas minas, lo más importante para emprender trabajos de reconocimiento y de explotación, montar un servicio adecuado de desagüe, con grandes probabilidades de que la metalización de los filones se conserve en profundidad.

Como hemos dicho, aumenta aún más las dificultades en la explotación el que las aguas sean fuertemente mineralizadas y muy calientes. A medida que se profundiza, la temperatura aumenta a razón de un grado geotérmico de 17 metros, iba alcanzando ya en labores hondas 60°. Las aguas están cargadas de muchas sales y de litio, y tienen constitución diferente a la del mar, por lo que algunos autores, como Herrero, sostienen que las aguas del mar no se filtran en la Sierra; otros, consideran que sólo una parte, aunque reconocen la impermeabilidad de la ladera que da al mar, y unos terceros consideran que el agua de la Sierra procede del Mediterráneo, y que se carga de otras sales en su recorrido por los filones.

Nos inclinamos a la opinión de Herrero; pero de lo que no cabe duda es de que, sea el que sea el origen de las aguas, su existencia exige, no sólo un desagüe grande, sino un sistema de refrigeración que haga posible el trabajo en estas minas, lo que representa grandes desembolsos y que se precise, para que el negocio sea remunerador, aprovechar también los minerales principales de la ganga: siderosa y barita. Del primero se han vendido grandes cantidades. El aprovechamiento de las sales de las aguas también se podría estudiar.

Con lo que hemos indicado precedentemente, la investigación principal en Sierra Almagrera, es el reconocimiento de los filones en profundidad, para lo que se precisa montar bien el servicio con su correspondiente refrigeración. Después, con socavones y transversales, se pueden reconocer todas esas zonas estériles existentes entre los grupos filonianos, pues no sería difícil aparecieran filones que aún no han sido reconocidos, dada la homogeneidad en la constitución geológica de la Sierra y el mucho quebrantamiento que ha sufrido. La gran galería de transporte que se recomienda hacer para cortar los filones servirá también para investigar todos esos filones, que hasta ahora no han dado señales de existencia.

Por último, juzgamos de interés reconocer la prolongación de la Sierra al Norte, debajo de los terrenos más modernos, y tal vez el llano de Vera, en el sitio donde se juzgue conveniente por su relación con rocas hipogénicas.

Como este distrito es hoy objeto de una investigación profunda y racional y científica por parte de una

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Sociedad filial del I. N. I., no hay por qué ocuparse de ella en este trabajo. Lo que pedimos de llevar a cabo plan de investigación, está ya en marcha.

Sierra de Gádor.

La Sierra de Gádor constituye un elemento orográfico bien determinado; la separa de Sierra Nevada, por el Norte, el río Andarax; de Sierra Alhamilla, al Este, el río de la capital, y al Oeste, la Sierra llamada Contraviesa, Serreta de Turón y otras, el río Adra. La Sierra mira al mar por el Sur, y sobre ella se apoyan depósitos terciarios y cuaternarios, en donde existen lignitos y turbas de poca importancia. La prolongación de la Sierra de Gádor, al otro lado del río Adra, lo constituyen Las Alpujarras, con análogas características geológicas.

La provincia metalogénica que ahora consideramos es de estructura sencilla y peculiar. Se trata de una Sierra constituída por materiales triásicos, principalmente, calizas y dolomías, con yacimientos metasomáticos, casi exclusivamente de plomo.

No cabe duda de que los movimientos alpinos son los que han intervenido casi predominantemente en el relieve actual de Sierra de Gádor. Nos parece que Sierra Nevada está constituída por un gran anticlinal, en cuyo corazón asuman principalmente las rocas cristalinas y metamórficas de los terrenos arcaicos. La rodean por todas partes los depósitos triásicos, aunque algunas veces enmascaran los contactos los terrenos terciarios.

La Sierra de Gádor constituye la envoltura de la base Sur de Sierra Nevada. La erosión destruyó lo demás. En partes, también por la acción derrubiadora, asoman a través del trías los materiales del estrato cristalino.

El trías es, pues, el terreno que forma casi toda esta interesante tierra. Terreno que, en la parte SE. de Andalucía, está formado por cuatro tramos, que son los siguientes, de abajo a arriba: 1.º, calizas toscas y conglomerados arenosos; 2.º, filadios arcillosos; 3.º, calizas tabulares, y 4.º, dolomías y calizas compactas.

El tramo predominante del trías en la Sierra de Gádor es el de las dolomías y calizas compactas. Es, además, donde se presentan los minerales plomizos. Pastor lo divide en tres horizontes, que son: uno, superior, formado por calizas arcillosas, compactas, de color amarillento, alternantes con lechos delgados de filadios azules o verdosos y con potencia media de unos 50 mts.; otro, intermedio, formado por calizas grises, compactas, con bien marcada estratificación, en lechos intercalados con capas arcillosas pizarreñas y color rojizo predominante, y el inferior, formado por las dolomías compactas, con abundantes grietas y fallas. En estas dolomías es donde se presenta la metalización.

No cabe duda de que disoluciones con aguas y gases a presión, en avanzada fase hidrotermal, se separaran de un sulfomagma y dieron lugar, cuando las condiciones de presión y temperatura eran correspondientes a una zona subvolcánica, a los depósitos de sulfuro de plomo, aprovechando para su ascensión las fisuras y huecos de las calizas y aumentando su metalización por un metasomatismo químico de substitución de la caliza por elementos mineralizantes.

Resultan, en conjunto, los criaderos de Sierra de Gádor, de presentación muy irregular, sin obedecer a ley alguna, de manera que las investigaciones tienen que ser realizadas confiando mucho, para el buen éxito, en el factor suerte.

En la Sierra hay en todas partes indicaciones de mineral; parece ser que la parte donde el mineral está más concentrado es la de Berja-Fondón-Lújar. Allí fué donde la minería del siglo XIX tuvo gran desarrollo, pues se afirma que, de 1796 a 1850, se llegaron a explotar 1.800.000 toneladas en infinidad de pocillos y galerías, hasta una profundidad de unos 200 mts., y en alguna parte, hasta 300 mts. Si se sube la montaña de SO. a NE. se encuentran en este grupo tres paquetes de filones, grietas y fisuras, en donde se acumularon las explotaciones. El más bajo y más al SO., el de Loma del Sueño; a éste sigue, con afloramientos más altos, el del Pecho de la Higuera, y, por último, más arriba, el del barranco de Las Plomeras, de menos importancia que los anteriores.

La investigación de estas minas nos parece obligada. No se puede concebir que un distrito minero que había tenido tanta importancia en el siglo XIX, y en donde había más de mil minas, cada una con su medio de extracción y desagüe, haya podido ser agotado.

Se han hecho últimamente reconocimiento en varias labores antiguas, y en las labores abandonadas se han

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

encontrado metalizaciones de 5 a 10 cms., muy superiores a la que tienen hoy los criaderos que se explotan en Linares.

Con los procedimientos nuevos de medios densos y de flotación, creemos que los filones abandonados por pobres, y algunas escombreras, puedan ser explotados hoy con buen éxito.

Como la profundidad máxima alcanzada por los mineros antiguos no debió pasar de 300 mts., surge, como primera idea, para reconocer sus yacimientos en profundidad, perforar grandes socavones. Esta idea la ha comenzado a llevar a la práctica, por su cuenta, un grupo modesto de obreros mineros, quienes han alcanzado con un socavón la longitud de 1.200 mts. Merecen toda nuestra admiración, y es lástima que no cunda el ejemplo en otros distritos. Con este trabajo, se han puesto en comunicación con las labores de la mina «Tormenta», del grupo Loma de Sueño. Claro es que la prolongación de esta labor es el trabajo que hay que hacer antes de nada. Aconsejamos se prolongue a dicho socavón en otros 1.000 mts., por lo menos, con lo que nos colocaríamos debajo de los criaderos más importantes. Esa labor representa 500.000 pesetas.

Será preciso, también, hacer otros transversales y reconocimientos, sirviéndonos de guía los planos antiguos y de lo que cuentan los mineros expertos del país. Conviene también tener en cuenta que parece que la mayor riqueza en plomo se presenta en las rocas descompuestas y oquerosas, que en el país se conocen con el nombre de «Chiscarra». En ellas se han presentado los más importantes soplados, que auguran bonanzas, así como la existencia de calcita cristalizada.

Aunque se concentran las investigaciones en el grupo Berja-Fondón-Lújar, creemos que también sería interesante estudiar, desde el punto de vista de su investigación, otros grupos que fueron explotados también por los antiguos, como el de Enix y Félix, que se explotó en el siglo XIX, y el de Alhama, Padules y Dalia, principalmente.

Parece que la formación de Sierra de Gádor se prolonga al otro lado del río Adra o Grande, en donde son conocidos interesantes yacimientos.

Insistimos en la conveniencia de acometer a fondo la investigación de la Sierra de Gádor, pues, como ocurre en las grandes fortunas, puede vivir mucha gente de sus desperdicios. Habrá que dedicar por lo menos 10 millones de pesetas a esta importantísima investigación.

Sierra de Cartagena.

Nada más complejo y dislocado que la provincia metalogénica de la Sierra de Cartagena. Se encuentran allí toda clase de criaderos y toda clase de minerales, y, sin duda, magmas que se elevaron en diversas épocas han repartido en aquellas tierras sus tesoros de modo desigual, y la influencia de unas conmociones sobre las otras ha creado esta complejidad y esa riqueza, que tanta confusión producen en el ánimo de geólogos y mineros.

Los minerales se presentan en filones, capas-filones, en grietas («stochwerks»), que son litoclasas de las llamadas sinclasas (o sea, que las grietas irregulares y pequeñas se han formado por enfriamiento o desecación, sin que neguemos puedan existir piezoclasas o formadas por causas mecánicas), y en bolsadas. No podemos por menos de señalar como criadero singular, aparte de los anteriores, el llamado Manto de Azules. Este manto no tiene casi en su total extensión, por techo y muro, pizarras titaníferas del llamado estratocristalino, y aparecen en el mismo criadero asomos dioríticos y diabásicos.

El criadero, que parece interestratificado, presenta estructura muy heterogénea. Los cristales de sulfuros diversos se mezclan con silicatos de hierro y arcilla o con pizarras con nódulos envueltos por arcillas silicatadas. El Manto de Azules tiene unos 4 kilómetros de O. a E., a 2,5 kilómetros de N. a S. Su potencia varía entre unos centímetros de espesor y 80 mts. Gavala y Melgar le asignan 10 mts., término medio.

En el manto se cifra hoy una reserva de unos 10 millones de toneladas de mineral complejo, con 3 % de plomo, 6 % de cinc y 10 % de hierro magnético.

En líneas generales, los geólogos consideran a este yacimiento como metasomático, en el sentido de la palabra, en los que por acciones mecánicas y químicas han sido substituídos los materiales antiguos por compuestos minerales del magma con digestión de aquéllos, y en donde esta substitución no ocurrió, se originaron fuertes fenómenos de metamorfismo, apareciendo minerales como cuarzo, magnetita, anfíbol, piroxeno, clorita y otros, unidos a los minerales indus-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

triales. Estos fenómenos de metalización y metamorfismo han sido aquí sumamente intensos.

En lo que difieren los autores, es sobre la naturaleza de la roca que ha sido metasomatizada y sobre la edad en que se creó. Según unos, era un banco arcilloso-arenoso; según otros, consideran que debió constituir un mármol análogo a los otros muchos mineralizados en las minas. Hay quien ve en el Manto de Azules indicio de una colada de tobas volcánicas. Bien pudiera ser pizarra más blanda, más arcillosa que las cristalinas que forman techo y muro.

Sea lo que sea, el Manto de Azules es único en el mundo, y lo más interesante de él es que aún contiene buena riqueza y que juzgamos es un criadero del que se puede sacar buen partido en los años venideros.

Los dueños más importantes de las minas de Sierra de Cartagena, comprendiendo las muchas reservas minerales que encierran, han comprado o arrendado la mayor parte de las concesiones mineras, y considerando que el único procedimiento para beneficiar estos minerales es el de la flotación diferencial, se ha construído, con proyecto del notable ingeniero Rubio, un lavadero, pero sólo para tratar 120 toneladas diarias. Es preciso ampliar estas instalaciones y acometer la investigación y explotación de los criaderos de la Sierra de Cartagena, con muchos más bríos. Hay mucho que hacer en este distrito y en el de Mazarrón por el Estado y particulares, realizando previamente un plan de investigación de todos los criaderos de modo racional y metódico. Juzgamos que en reconocimientos será preciso emplear unos 10 millones de pesetas, por lo menos.

Entre la Sierra de Cartagena y la Sierra de Almenara, constituídas por rocas antiguas, a las que se adosan materiales triásicos, entra el mioceno acribillado de rocas eruptivas, cuyas coladas forman, en ocasiones, lomas y cerros que suelen designar en el país con el nombre de «Cabezos». En dicha depresión miocena se encuentran el pueblo de Mazarrón y el distrito minero que toma su nombre, que tuvo notoriedad antiguamente, pues alcanzó producción anual de 50.000 toneladas, y en relación estrecha con el de Sierra de Cartagena. También asoman entre los depósitos terciarios pizarras y calizas, y en el contacto de las mismas con las masas eruptivas suelen presentarse algunos yacimientos interesantes.

Los filones están en íntima relación con traquiandesitas propylitizadas, que se llaman en el país «Metalera». Se observa que los depósitos del plomo son debidos a la fase hidrotermal de consolidación del magma y que, como en toda la región alpina-mediterránea, la diferenciación del magma ha sido confusa y precipitada y en zona subvolcánica.

Se han reconocido y explotado hasta 18 filones, de los cuales ha habido algunos muy ricos, como los llamados «Romano», «Pródigo» y «El Pepino». La profundidad que alcanzaron las labores mineras fué la de 400 mts., en la que parece que los filones se estelizan.

Atraviesa estos filones una gran falla, llamada el filón «San José», con dirección NE, y reconocida en más de 500 mts. Está rellena por pizarras, calizas y trozos de traquita envueltos por un cemento traquítico, de donde debieron partir las apófisis filonianas. Todos los filones se estrellan en esta falla, que, por tanto, tiene gran significación metalogénica.

En el distrito minero de Mazarrón se pueden obtener ahora importantes cantidades de plomo de las siguientes fuentes principales: 1.ª Explotación de filones que antes, por su baja ley, se consideraban inexplotables. 2.ª Minerales que impregnan los hastiales y que alcanzan, a veces, leyes interesantes. 3.ª Rellenos de las galerías y explotaciones antiguas, en las que, en algunos casos, se han podido apreciar que el contenido en galena no baja de 40 Kgs. por tonelada. 4.ª Escombreras antiguas, con riqueza de uno y medio a dos por ciento de plomo. 5.ª Campos nuevos de posibles mineralizaciones para cuya busca es preciso realizar importantes trabajos de investigación.

Se ha creado la sociedad «Minerales no férricos» para extraer el plomo de las fuentes que acabamos de indicar, y por consiguiente, el Estado nada tiene que hacer en los sitios donde la industria privada acomete las investigaciones en la potencia que lo hace «Minerales no férricos». No hay que olvidar que se deben buscar campos nuevos como el que probablemente existe debajo de los llanos en donde está el pueblo de Mazarrón.

Reocín-Mercadal.

Criaderos interesantes y ricos son los de Reocín-Mercadal, que se extienden, aunque con menos impor-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tancia, por los Picos de Europa. Las menas obtenidas de ellos son de cinc y de plomo, más abundantes del primero. Los minerales se presentan en las calizas con pseudotoucasias y polycomites, correspondientes al aptense superior o gargasense, y, en su mayoría, dolomitizadas. Tienen por muro capas margosas con orbitolinas, o sea impermeables, y por techo areniscas micáceas, y a veces pizarreñas albenses. Está la zona bastante transformada, con muchas roturas, como la que produjo la separación de las cuencas de Reocín y de Mercadal. Estos movimientos, relacionados con los de los Picos de Europa, son alpinos, probablemente, los primeros neolarámicos. En la zona de los criaderos que nos ocupa parece ser que el macizo que resistió los empujes fué la cordillera dinantense del Dobra, contra cuyo cratón se doblaron los bancos wealdenses y aptenses.

No se observa roca hipogénica en relación con estos criaderos que debieron formarse en fase hidrotermal avanzada, produciendo fenómenos internos de metasomatismo. Existen en la región, aunque no próximas, manifestaciones diapíricas con su cortaje ofítico.

Los minerales principales son blenda, calamina y galena. La calamina, como mineral secundario, debido, como siempre, a la acción de aguas meteóricas cargadas de ácido carbónico.

Los yacimientos de Reocín han sido investigados, y así como al NE. del coto no han encontrado mineral, en cambio al Oeste los criaderos llegan hasta muy cerca del alto de Sopeña, de modo que abarca la zona productora de mineral cerca de 100 hectáreas.

En la prolongación de estos criaderos, en los Picos de Europa, en término Calameño, a 1.800 mts. de altura, se ocupa la sociedad minera «Picos de Europa» de poner en explotación los criaderos de blendas y galena, con abundancia de este último mineral.

La Real Compañía Asturiana efectúa continuamente reconocimientos en este distrito, obteniendo en muchos de ellos resultados satisfactorios y que indican de modo claro que la investigación no es nunca cara: unas veces descubre riquezas y otras ahorra gastos. Como la industria privada realiza de continuo investigaciones mineras, no creemos que tenga el Estado que impulsar los reconocimientos en este importante distrito.

En la provincia de Guadalajara, con caracteres distintos, se presentan en la Sierra de Lújar unos yacimientos en la caliza herciniana, donde se explotó, sobre todo en el grupo El Pajarote, cantidades importantes de mineral de plomo.

En la desmantelada cordillera costera catalana existen, sobre todo en la región del Priorato, criaderos de plomo de interés, explotados desde hace muchos años, sin duda debidos a movimientos hercinianos o anteriores.

También en el Pirineo y en la Sierra Cantábrica se observan algunas manifestaciones plomíferas. En Guipúzcoa, en los términos de Legazpi, Oñate, Irún y Oyarzún, explota la Real Compañía Asturiana criaderos de cinc, pero que contienen importantes cantidades de plomo, como en las minas «San Maximiliano» y «Catavera II».

Los reconocimientos de todas estas minas de plomo deben llevarse a cabo por los propietarios de las mismas, aunque el Estado puede prestarles ayuda económica en forma de anticipos en todo o en parte reintegrables. Las investigaciones de Sierra Morena, de la zona de Levante y de la Sierra de Gádor, tienen interés excepcional para nuestra economía nacional. Si llegáramos a producir 300.000 toneladas de plomo metal, ¡cuánto no mejoraría nuestra economía nacional! y ¡cuántas toneladas de trigo se podrían importar!

Consideremos que para investigaciones varias en toda España, aparte de las que se realicen en las comarcas que concretamente hemos señalado, se deben hacer labores por valor de, lo menos, 10.000.000 de pesetas.

De modo que consideramos que en criaderos de plomo se deben realizar un plan mancomunado del Estado con la industria privada que represente, por lo menos, unos 80 ó 100 millones de pesetas. Consideramos de máximo interés las investigaciones en Sierra Morena.

CAPÍTULO VI

BAUXITAS

I.—PRÓLOGO

Los estudios geológicos realizados hasta la fecha en la región catalana permiten afirmar que en ella existen importantes yacimientos de minerales bauxíticos cuyo contenido en sílice es muy variable. Los más abundantes son, por desgracia, aquéllos en los que este contenido supera al máximo admisible para obtener, a partir

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de aquéllos, el hidrato de aluminio, en condiciones económicas.

Otra parte, cuya cuantía no se puede precisar «a priori», por falta de labores de reconocimiento adecuadas, es menos rica en sílice, y permite ser explotada y transformada en alúmina hidratada en condiciones económicas, por los procedimientos químicos adecuados al efecto.

En los párrafos siguientes vamos a exponer primeramente el plan de labores de reconocimientos que conceptuamos necesarias para determinar, en el plazo de un año, si se puede contar con una cubicación de mineral del orden de un millón de toneladas, y cuya calidad sea aceptable para su transformación en alúmina. Después, estudiaremos la investigación total de las bauxitas catalanas, para el caso de que los resultados obtenidos en la primera etapa aconsejaran esta continuación que, por el momento no será de interés, aunque para el provenir sean de gran trascendencia nacional.

II.—DESCRIPCIÓN DE LOS YACIMIENTOS

Antes de exponer el plan de labores de reconocimiento, haremos breve exposición de las distintas maneras de presentarse los yacimientos de bauxita, para no tener que repetir los detalles de cada caso particular, al enumerar los distintos trabajos y minas que los comprenden, porque, realmente, no hay diferencia esencial de unos lugares a otros, como no sea en ligeros detalles de predominio mayor o menor, en el contenido parcial de sus elementos constituyentes. Su estructura es, casi siempre oolítica; el tamaño de los granos suele estar comprendido entre 1 y 10 mm., y el cemento que los traba es compacto, de tinte rosáceo y, más frecuentemente, rojizo, color que da el tono general del yacimiento. La fractura es neta y concoidea, y la masa es de tal consistencia que, al romperse, se seccionan los colitos y o bien dejan sus alvéolos vacíos, o quedan incrustados en aquéllos por completo.

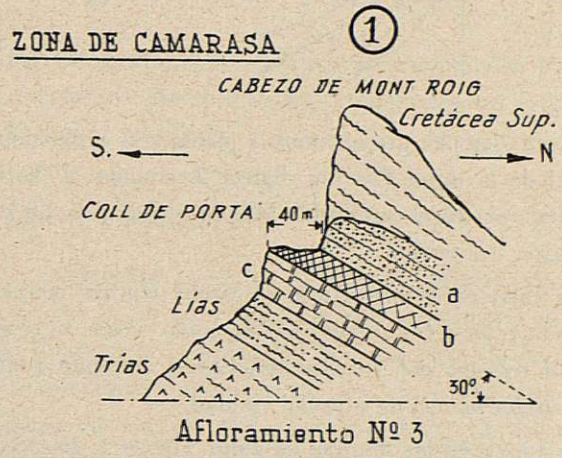
La mayor parte de los yacimientos de bauxita de la región catalana se presentan en forma de capa interestratigráfica concordante con las de la misma formación. Descansa sobre un horizonte de caliza que les sirve de muro y están cubiertos por otro de arenisca que les sirve de techo.

En algunos casos parecen corresponder al Infacretáceo, posiblemente, al Albense, ya que se trata de un tramo superpuesto al de las margas liásicas con profusión de *Gripheas, Terebrátulas* y *Belemnitas* y recubierto por las calizas del cretáceo superior o Campaniense, con abundancia de *Hippurites*. El conjunto descansa sobre las margas yesosas del Trías que constituyen el substratum inmediato de la región. En otros, según veremos después, están enclavados totalmente en el triásico superior.

YACIMIENTOS DE BAUXITAS EN EL INFRACRETÁCEO

Zona de Camarasa y Santa Liña

Como ejemplo del primer tipo de yacimientos presentamos el corte vertical, figura 1, transversal al criadero, con la proyección del cabezo Montroig que se alza a su lado, de la mina Elena situada en el paraje «Coll de Porta» de la línea límite entre los términos municipales de Camarasa y Santa Liña.



Afloramiento Nº 3

Todos los criaderos del grupo situado al Norte de la región catalana son del tipo que acabamos de reseñar, aunque se presenten en estructuras plegadas en forma de sinclinales o anticlinales y, entre ellos, podemos mencionar los de Santa Liña-Camarasa-Alós de Balaguer-Peramola-Aliñá-Alsina y Tuxent.

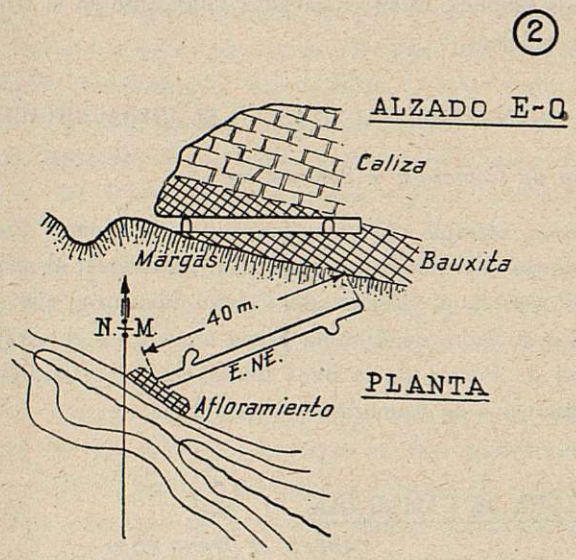
YACIMIENTOS DE BAUXITA EN EL TRIÁSICO

Zona de Mediona

Al Sur de la zona anterior, en la que podríamos llamar región bauxítica central, existe un grupo de yacimientos que corresponden a un horizonte geológico más antiguo, cual es, el de las arcillas y margas de colores

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

vinosos, rojo y gris, frecuentemente intervenadas de yeso en escamas, pertenecientes a la formación triásica, recubiertos, en algunos lugares, por las calizas oquerosas, de tono pardo amarillento, y, a veces, compactas y espáticas, del tramo superior de la misma formación.



Como ejemplo, presentamos la planta y el corte transversal de la mina *Teresita*, figura 2, situada al Norte de *Mediona*, en el camino de Más Martí, a unos 2,5 kilómetros del pueblo.

La capa es de estructura uniforme, textura conglomerada y, en determinadas partes, como sucede en el segundo registro del socavón practicado, presenta zonas de bauxita blanca de especial calidad.

Se apoya en las margas de color vinoso y grisáceo, y está coronada por las calizas, ora oquerosas, ora compactas, a veces, brechoides o sabulosas, del tramo triásico superior.

De análoga naturaleza son los afloramientos bauxíticos que se presentan en los dos grupos de concesiones mineras, situadas al Oeste del citado pueblo de *Mediona*, a lo largo del barranco de Puig Fred y el de la mina *Margarita*, situado en la Plana de Mongrás.

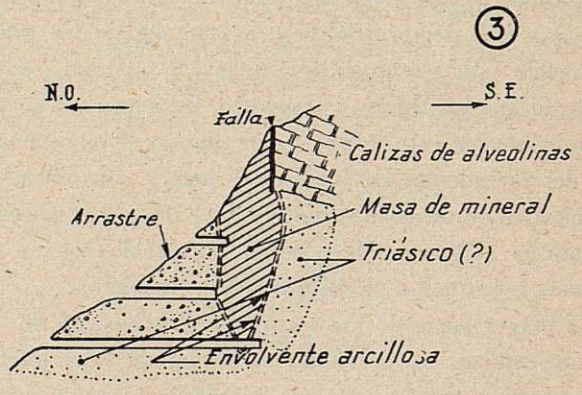
Zona de La Llacuna y de Santa María de Miralles

Puede decirse, al referirse a esta zona de la región central, que es en ella, donde realmente se observa un cambio radical en el modo de estar o de yacer de estos criaderos bauxíticos, en relación con todo lo dicho respecto a los anteriores, e incluso aún dentro de la zona de *Mediona*. Así como en la zona Norte se hallan encajados de modo evidente entre las rocas sedimentarias del Infracretáceo y en la de *Mediona* aparecen comprendidos entre horizontes triásicos, aunque con estructura distinta y con apariencia de arrastre, en la zona de la Llacuna, son, en su casi totalidad, restos de algún horizonte desaparecido, en forma de bolsadas que cortan la estratificación, adoptando la forma de un embudo o cuña de límites tajantes, donde después de extraída de ellos la mena, no queda otro rastro que el de una envoltura de pizarra arcillosa, algo abrillantada y negruzca, como de un metro de potencia y completamente estéril.

Comprenden los criaderos de esta zona, la agrupación de minas de la serie de Costa, con extensión superficial de 4 Kms., en cuadro, próximamente. No tienen entre sí otra analogía que la de estar encajados en las calizas oquerosas o cariolas del Trías, o en las compactas de la misma formación.

Algunos de ellos, por estar situados en los bordes de las calizas con alveolinas de la formación eocena, pudieran tomarse como tales, pero un examen más detenido comprueba que no difieren de los anteriores.

Un ejemplo de esta manera de presentarse el yacimiento lo encontramos en la mina *Adelaida*, de Santa María de Miralles. El emplazamiento de esta bolsada de mineral, figura 3, es de los considerados como confusos. Se halla coincidente con un contacto anormal en-



tre calizas de alveolinas, y una zona de arrastre que cubre las laderas en las cercanías del fondo del valle, también eoceno. Esto hace creer, a primera vista, que el criadero está encajado en el Eoceno; pero se comprueba, con toda seguridad que arma en las calizas del

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Trías, en cuanto se observan detenidamente sus capas. En todo caso, es de configuración similar y génesis idéntica a los de *Llacuna*, sin que falte su falla correspondiente.

La misma duda aparente en lo que respecta a su clasificación geológica se presenta en la mina *Eulalia*, situada en la falda SE. de la sierra Turbal, en la parte más occidental del valle de Miralles. En presencia de los afloramientos de estas minas surge idéntica duda acerca de su armazón. Con Eoceno en el fondo del valle y cubiertas las alturas por las calizas de alveolinas que ascienden recostadas por la ladera de la sierra, parecen enclavadas en esta formación geológica. Sin embargo, si se asciende por la ladera hacia la mina *Eulalia* se pisan, en efecto, las calizas con profusión de ejemplares de esta fauna, figura 4, pero, poco antes de llegar al afloramiento de bauxita, se aprecia un cambio notable. Las calizas pierden la facies que tenían y se tornan estériles, marmóreas, de tono rosáceo y gris; surgen de pronto con inclinaciones mayores, hasta alcanzar casi la posición vertical y quedan las primeras apoyadas sobre las segundas, con cierto diapirismo y contacto anormal.

④

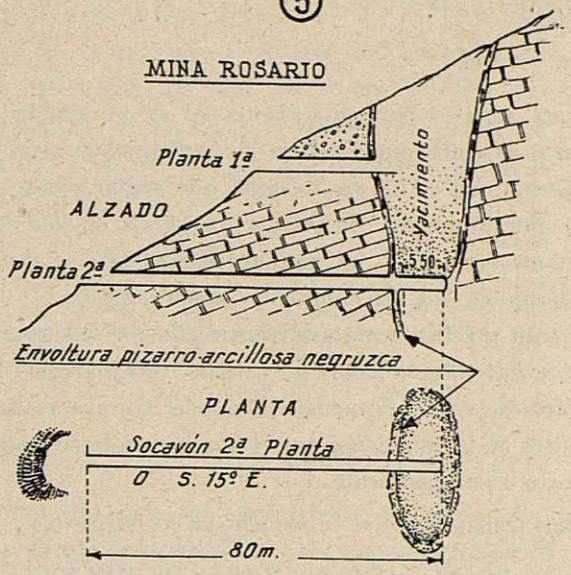
MINA EULALIA

Entre las segundas, se encuentra intercalada la capa de bauxita y por la analogía de las mismas con las reconocidas como triásicas, parece natural incluirla en dicha formación.

Zona de Ayguamurcia

En la mina *Rosario*, situada en la zona de las Poblas, se presenta un yacimiento de bauxita, en forma de bolsada, análogo al que hemos descrito en la mina *Adelaida*. Arma en las calizas triásicas de estratificación sensiblemente horizontal o ligeramente inclinada, figura 5, cortando la estratificación en forma de cuña de suave bisel y de profundidad relativamente grande.

⑤



Con los ejemplos presentados, se comprenden todas las formas de presentarse los yacimientos de bauxita en la región estudiada.

III.—PLAN Y PRESUPUESTO DE LA INVESTIGACIÓN

La producción anual de 10.000 toneladas de aluminio parece haber sido aceptada por la industria española. Como para la obtención de cada tonelada de metal se precisan, próximamente, dos de óxido anhidro o cuatro de bauxita, será preciso arrancar de las minas españolas, por lo menos, 40.000 toneladas anuales de bauxita que reúnan las condiciones necesarias de pureza, en lo que se refire a su contenido en sílice y hierro, principalmente.

De aquí, que hayamos dividido el plan de investigación en dos etapas: Una primera, de urgencia, para desarrollarla en el plazo de un año y con costo relativamente pequeño, para comprobar si es posible poner de manifiesto una cubicación del orden de un millón de toneladas de bauxita de calidad aceptable, que permitiera abastecer las fábricas españolas durante un plazo de unos veinte años y una segunda etapa de investigación que comprendiese el reconocimiento integral de todas las bauxitas de Cataluña, sin interés de momento, pero de gran importancia nacional, en el

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

caso de que así lo aconsejaran los resultados obtenidos en la primera.

PRIMERA ETAPA

Zona central

Esta zona es muy interesante por su proximidad a puerto de embarque; si bien la configuración especial y discontinua de los yacimientos, que, según hemos dicho anteriormente, constituyen los restos de una importante formación, no permite esperar que se pueda alcanzar, en ella, la cubicación antes indicada.

Como prácticamente está demarcado todo el terreno donde hay afloramientos de bauxita, designaremos los lugares de estos afloramientos, donde hay que realizar labores de investigación por el nombre de la concesión minera correspondiente.

Los trabajos que se proponen son los siguientes:

Mina «Adelaida» (SANTA MARÍA DE MIRALLES)

Investigación de la prolongación de la bolsa mediante un transversal de 80 metros de longitud y eventualmente 100 metros de galería.

Mina «Eulalia» (SANTA MARÍA DE MIRALLES)

Tranversal de 50 metros; 50 metros de galería y 20 de pocillo.

Mina «Francisca» (MEDIONA)

Transversal de 15 metros; 30 de pocillo y eventualmente 50 metros de galería.

Mina «Margarita» (MEDIONA)

50 metros de pocillo y 30 de galería.

Mina «Conchita» (SANTA MARÍA DE MIRALLES)

10 metros de pocillo y 20 de galería.

Mina «Rosario» (AYGUAMURCIA)

50 metros de galería, en el nuevo afloramiento.

Presupuesto de la zona:

	Pesetas
145 metros de transversal a 350 ptas.	50.750
280 » » galería » 250 »	70.000
130 » » pocillo » 250 »	37.500
Madera, carriles, etc.	30.000
Dirección, vigilancia, análisis y estudios	31.750
Total	220.000

Zona de Paramola

En esta zona hay una serie de afloramientos en las inmediaciones de Pallarolls, que ascienden desde este pueblo hasta la casa de San Marc y la cantera de Molíns y que continúan desde allí hasta Font de L'Ou. En dicho punto desaparecen y se marchan a presentar al otro lado del pliegue, a unos 400 metros de distancia, en el paraje denominado Belcut; se interrumpe de nuevo para reaparecer dos kilómetros más lejos, en Coscollet donde se han hecho algunos trabajos.

Las investigaciones que piensa realizar en esta zona son:

1.º Diez calicatas profundas en los afloramientos que existen desde la Compón a Font de L'Ou con arranque, en promedio, de 50 m³ en cada una y estría del mineral arrancado en tres clases. Total: 500 m³.

2.º Exploración de la bolsada de Font de L'Ou en los niveles de 15 y de 30 metros por bajo del camino, mediante dos transversales de 30 y 60 metros de largo, respectivamente, que se prolongarán hasta atravesar la masa de mineral. En una y otra planta se seguirán galerías de dirección, hasta tocar el terreno terciario en el límite occidental (unos 20 metros); y en el opuesto se continuarán mientras siga el mineral, con un límite de 80 metros. Se harán calderillas para ventilación entre ambas galerías, cada 30 metros, y si fuera necesario, alguna desde la galería superior a la superficie. Desde ambas galerías se harán recortes cada 20 metros hasta tocar los hastiales.

Trabajos:

90	metros	de socavón.
200	»	» galería.
60	»	» calderilla.
50	»	» recortes.

3.º Localización de la bolsada al otro lado del pliegue en Belcut, mediante 100 metros de galería.

4.º Descubrimiento del afloramiento de Coscollet en 100 metros, profundizando lo necesario para llegar al mineral no meteorizado (unos dos metros).

Total: :1.600 m³ de excavación a cielo abierto.

Presupuesto de la zona:

	Pesetas
2.100 m³ de excavación a cielo abierto, a 30 ptas. ...	63.000
500 mts. de galería, a 250 ptas.	125 000
Madera, carriles y materiales	50.000
Dirección, vigilancia, análisis y estudios	42.000
Total	280.000

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Zona de Alsina

Los reconocimientos que se efectúen en esta zona tienen por objeto comprobar la continuidad de la masa; determinar su potencia y la calidad media. Son los siguientes:

1.° Apertura de una cantera de 100 metros de corrida, en la parte más baja de la masa, de cinco metros de desmonte y 10 de avance, con arranque de 2.500 metros cúbicos.

2.° Otra cantera de 300 metros de la anterior, de las mismas características, pero de 60 metros de corrida: 1.500 m^3.

3.° Dos galerías con diferencia de nivel de 15 metros (una está parcialmente construída), con calderillas cada 30 metros para dar ventilación. Total 100 metros de galería y 40 de calderilla.

Diez sondeos de 30 metros de profundidad.

Presupuesto para la zona de Alsina:

	Pesetas
4.000 m^3 de arranque, a 200 ptas.	80.000
140 mts. de galería...	35.000
300 mts. de sondeo, a 250 ptas.	75.000
Dirección, etc., 20 %	40.000
Total	230.000

SEGUNDA ETAPA

Esta segunda etapa consta de dos partes: una de ellas debe reconocer en profundidad la mineralización que se haya descubierto en la primera etapa, y, como es lógico, no cabe hacer cálculo «a priori», del presupuesto necesario, por lo que nos limitaremos a consignar una previsión de 500.000 pesetas para este fin.

La otra consiste en el reconocimiento de los criaderos de la zona de La Vansa, de peor situación geográfica que las anteriores, pero en la que existe, sin duda, una masa de mineral inmensamente mayor que entre todas las demás reunidas. Se prescinde de la zona Sur por no ser adecuado para usos metalúrgicos el mineral hasta ahora descubierto.

La zona de Camarasa, recientemente descubierta, es poco conocida, por lo que no se detallan las labores, y nos limitamos a consignar la cantidad global de 200.000 pesetas.

Zona de La Vansa

Coll de Fumés.—Comprobación de la continuidad de los afloramientos mediante 20 calicatas o pocillos. Corte a 25 y 50 metros de profundidad, mediante dos sistemas de transversales separados 200 metros; unión de los tranversales en cada planta por galerías en mineral; unión de las dos plantas por calderillas, cada 30 metros y de la superior a la superficie en la misma forma.

	Pesetas
250 mts. de tranversal, a 350 ptas.	87.500
400 mts. de galería, a 250 ptas.	100.000
300 mts. de pocillo, a 250 ptas.	75.000
Materiales	40.000
Total	202.500

Talais

Comprobación del plegamiento de la capa y reconocimiento por medio de: seis transversales de 80 metros, como término medio y otras tantas galerías en dirección de 400 metros; 40 calderillas de 25 metros; 60 recortes de 10 metros.

	Pesetas
480 mts. de transversal a 350 ptas.	240.000
2.400 mts. de galería, a 250 ptas.	600.000
1.000 mts. de calderilla, a 250 ptas.	250.000
600 mts. de recorte, a 250 ptas.	150.000
Materiales	150.000
Total	1.390.000

Cavoc

Comprobación de la continuidad entre las dos series de afloramientos.

600 mts. de sondeos, a 250 ptas.	150.000

Pineda

Seis transversales en la ladera de la montaña para cortar la capa, separados 100 metros, y una galería que los una; calderillas hasta la superficie de 40 metros, como término medio; 20 recortes de 10 metros.

	Pesetas
360 metros tranversal	126.000
600 » galería	150.000
600 » calderilla	150.000
200 » recorte	50.000
Materiales	60.000
Total	536.000

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Fontanelle

Dos pocillos de 10 metros; 400 metros de sondeo.

	Pesetas
100 metros de pocillo	25.000
400 » de sondeo	100.000
Materiales	25.000
Total	150.000

Coll de Port

Como en Coll de Fumés ... ... 202.500 ptas.

Aún se omiten otros reconocimientos interesantes, para los cuales se presuponen 500.000 pesetas.

Presupuesto para la zona de La Vansa:

	Pesetas
Coll de Fumés	202.500
Talais	1.390.000
Cavoc	150.000
Pineda	536.000
Fontanelle	150.000
Coll de Port	202.500
Dirección y Administración	500.000
Total	3.131.000

PRESUPUESTO TOTAL

Primera etapa

	Pesetas
Zona Central	220.000
Zona de Paramola	280.000
Zona de Alsina	230.000
Total	730.000

Segunda etapa

	Pesetas
Ampliación de la primea etapa	500.000
Zona de Camarasa	200.000
Zona de La Vansa	3.131.000
Total	3.131.000

CAPÍTULO VII

ESTAÑO

NECESIDADES NACIONALES DE ESTAÑO

En los primeros años de este siglo el consumo de estaño en España era de una media de 1.100 tons. anuales. En el año 1930 llegó a la cifra de 2.285 tons. De la curva del consumo que se puede ver en el gráfico anexo se deduce que, en una situación normal de nuestra economía, de no haber existido en estos últimos años las circunstancias restrictivas en que se ha tenido que desenvolver nuestra economía, en el año 1950 se habría alcanzado una demanda no inferior a 2.500 toneladas.

Actualmente, dado el índice de la actividad industrial, puede estimarse que, para atender las necesidades de la industria, son necesarias, como mínimo, 1.500 toneladas de estaño, anualmente.

SITUACIÓN DEL SUMINISTRO DE ESTAÑO DURANTE ESTOS ÚLTIMOS AÑOS

Desde el año 1940 hasta 1950 la demanda nacional de estaño sólo ha podido ser atendida con una cifra promedio de 853 tons. anuales; es decir, un 57 % de las necesidades mínimas antes expuestas, y un 34 % de la que hubiese solicitado la industria nacional en situación de actividad normal, como se deduce de las datos que a continuación se exponen:

Aportación de estaño al mercado

Origen	Promedio anual 1940 a 1949		1945		1949	
	Tons.	% (1)	Tons.	% (1)	Tons.	% (1)
Importación	421	28	92	6,1	150	10
Prod. nacional	432	28,8	850	56,6	585	39
Total aportado	853	56,8	942	62,7	735	49

(1) % sobre la cifra de 1.500 tons. anuales de necesidades mínimas.

Vemos también, en las cifras expuestas, que, como promedio, durante la anualidad 1940-1949, la producción nacional ha representado un 28 % de las necesidades mínimas de 1.500 tons., si bien en el año 1945 llegó a cubrir un 56,6 % de las mismas, lo que puede considerarse como porcentaje verdaderamente interesante.

La situación de la producción nacional en 1949 ha sido más desfavorable que la de 1945, y la razón de ello ha sido la cesación de las medidas de fomento y estímulo de la Minería; cesación que tuvo lugar a finales de 1946.

La deficitaria situación de abastecimiento de estaño

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

IMPORTACIÓN NACIONAL DE ESTAÑO EN SUS DIVERSAS FORMAS

AÑO	Estaño en lingotes y barras — Toneladas	Hierro en planchas estañadas y hojalata sin obrar (1) — Cantidad — Toneladas	Hierro en planchas estañadas y hojalata sin obrar (1) — Sn. contenido — Toneladas	Estaño en planchas, rollos y tubos — Toneladas	Estaño en hojas para cápsulas y para envolver — Toneladas	Estaño con impresiones, grabados y estampaciones y las cápsulas para botellas y otros envases — Toneladas	Estaño en objetos no especificados — Toneladas	TOTAL (2) — Toneladas
1900	1.143,5	2.389,8	47,796	—	—	—	—	1.191,296
1901	1.012,5	1.740,6	34,812	—	—	—	—	1.047,312
1902	1.126,6	1.925,3	38,506	—	—	—	—	1.165,106
1903	1.233,8	3.920,4	78,408	—	—	—	—	1.312,208
1904	1.171,6	1.071,2	21,424	—	—	—	—	1.193,024
1905	1.271,2	1.362,7	27,254	—	—	—	—	1.298,454
1906	1.257,8	2.496,2	49,924	—	41,67	—	—	1.349,394
1907	1.490,9	3.827,4	76,548	—	149,63	—	—	1.717,078
1908	1.387,8	5.591,4	111,828	—	160,69	—	—	1.660,318
1909	1.095,0	2.884,5	57,690	—	136,68	—	—	1.289,370
1910	1.214,1	1.379,1	27,582	—	171,29	—	—	1.412,972
1911	1.315,4	1.505,8	30,116	—	191,43	—	—	1.536,946
1912	1.454,5	2.723,4	54,468	—	254,02	—	—	1.762,988
1913	1.708,8	3.008,5	60,170	—	266,34	—	—	2.035,310
1914	1.153,5	2.014,0	40,280	—	200,13	—	—	1.393,910
1915	1.476,4	1.503,0	30,060	—	105,45	—	—	1.611,910
1916	1.405,9	11.132,8	222,656	—	103,38	—	—	1.731,936
1917	1.195,3	1.705,0	34,100	—	83,19	—	—	1.312,590
1918	393,4	1.303,6	26,072	—	28,27	—	—	447,742
1919	1.775,1	22.549,7	450,994	—	58,95	—	—	2.285,044
1920	1.122,9	11.034,0	220,680	—	101,87	—	—	1.445,450
1921	844,5	6.247,0	124,940	—	82,98	—	—	1.052,420
1922	1.251,5	12.937,2	258,744	6,6	42,50	12,7	37,0	1.609,044
1923	1.237,6	9.439,6	188,792	12,8	28,00	11,9	24,3	1.503,392
1924	1.738,2	12.299,3	245,986	12,2	36,5	15,5	24,6	2.072,986
1925	1.237,6	9.439,6	188,792	40,3	54,1	14,5	45,7	1.580,992
1926	1.584,8	3.659,5	73,190	29,2	39,6	15,9	16,1	1.758,790
1927	1.386,9	7.306,5	146,130	11,5	44,6	37,1	10,3	1.636,530
1928	1.649,7	7.420,4	148,408	13,6	52,8	48,3	8,6	1.921,408
1929	1.837,0	9.217,6	184,352	19,5	28,0	63,5	5,2	2.137,552
1930	1.937,4	11.003,5	220,070	16,9	56,7	47,8	6,4	2.285,270
1931	1.734,1	6.192,1	123,842	11,3	29,8	43,1	5,8	1.947,942
1932	1.753,2	4.001,4	80,028	12,3	12,5	36,8	6,5	1.901,328
1933	1.515,5	946,1	18,922	7,5	3,8	29,5	3,4	1.578,622
1934	1.611,9	851,3	17,026	12,3	3,8	26,8	8,0	1.679,826
1935	1.945,6	1.495,9	29,918	16,5	5,2	9,0	6,3	2.012,518
1936	—	—	—	—	—	—	—	—
1937	—	—	—	—	—	—	—	—
1938	—	—	—	—	—	—	—	—
1939	—	—	—	—	—	—	—	—
1940	992,7	6.994,0	139,880	1,0	2,0	—	—	1.135,580
1941	715,9	3.371,0	67,420	—	—	—	—	783,320
1942	50,6	5.618,1	112,362	20,0	—	—	4,0	186,962
1943	122,3	95,0	1,900	0,1	0,1	—	—	124,400
1944	369,7	8.592,0	171,840	—	—	—	1,0	542,540
1945	91,6	8.934,0	178,680	0,2	—	0,1	0,1	270,680
1946	282,0	9.336,0	186,720	3,0	10,0	0,2	3,0	484,920
1947	1,2	4.972,0	99,440	15,0	—	0,1	0,1	115,840
1948	100,5	6.019,0	120,380	46,2	—	—	0,2	267,280
1949	157,0 (p)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	

(1) El estaño contenido en la hojalata está calculado sobre la base del 2 % como promedio.
(2) En este total va incluído el 2 % de contenido de estaño en «Hierro en planchas estañadas y hojalata sin obrar».
(p) Provisional.
(s) Sin datos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

al mercado nacional ha creado gran disminución en la producción de los innumerables y básicos bienes de consumo y de capital que necesita el estaño para su elaboración. Es urgente, pues, hallar remedio a este estado de cosas, en beneficio de la prosperidad nacional.

La solución de este problema mediante importaciones es difícil, ya que el cubrir las necesidades futuras de 2.500 tons. por este procedimiento, con el precio medio que hay que estimar de 600 £ la tonelada, significan 1.500.000 £ anuales, lo que constituiría pesada carga en el platillo de las importaciones de nuestra desfavorable balanza de pagos.

Analizada, pues, la estructura de esta faceta de nuestra economía, se deduce la conveniencia de sacar el máximo provecho de las posibilidades que ofrece nuestro subsuelo y de las que hablaremos más adelante.

LA METALURGIA DEL ESTAÑO EN ESPAÑA

SITUACION DE LA INDUSTRIA ANTES Y DESPUÉS DE 1939

No existían fábricas metalúrgicas de estaño en España antes del año 1939. La producción nacional de minerales, mucho más reducida entonces que actualmente, era totalmente exportada a Inglaterra, principalmente para su beneficio metalúrgico. El Comité Sindical de Hojalata y Estaño, primer Organismo regulador de esta rama de la economía, creado en el año 1938, prohibió la exportación de minerales nacionales que empezaron a beneficiarse en una pequeña instalación que, con carácter provisional, se montó en Vigo. Posteriormente dicha fundición dejó de trabajar. A partir de 1941 se montaron diversas instalaciones metalúrgicas en España, y en la actualidad hay en funcionamiento cinco factorías, cuya capacidad anual de tratamiento es de 7.000 tons. de mineral del 60 % de ley media, lo que significa una capacidad de producción de estaño en lingote de 4.500 tons., o sea, más del doble de las necesidades nacionales. Es pues, ésta, una industria nueva creada en España en estos últimos diez años.

ESTADO TÉCNICO DE LAS INSTALACIONES

De las cinco instalaciones mencionadas, tres efectúan la reducción del mineral de estaño en hornos eléctricos de cuba baja. Los rendimientos metálicos que se obtienen en estas instalaciones son del 98 a 99 %. El consumo específico de energía por tonelada de mineral es de 1.200 kwh.

Vistos los datos acabados de exponer que se refieren al proceso fundamental, o sea, al de reducción en el tratamiento de los minerales de estaño, se colige que la industria nacional se encuentra completamente al día en lo que se refiere al aspecto técnico de la producción, ya que el rendimiento metálico, como el consumo de energía, alcanzan las cifras óptimas de las obtenidas en las más modernas instalaciones extranjeras. La más moderna instalación electrometalúrgica montada por los belgas en el Congo, con capacidad de tratamiento de 15.000 toneladas anuales de minerales, tiene un consumo específico de 1.100 kwh. por tonelada.

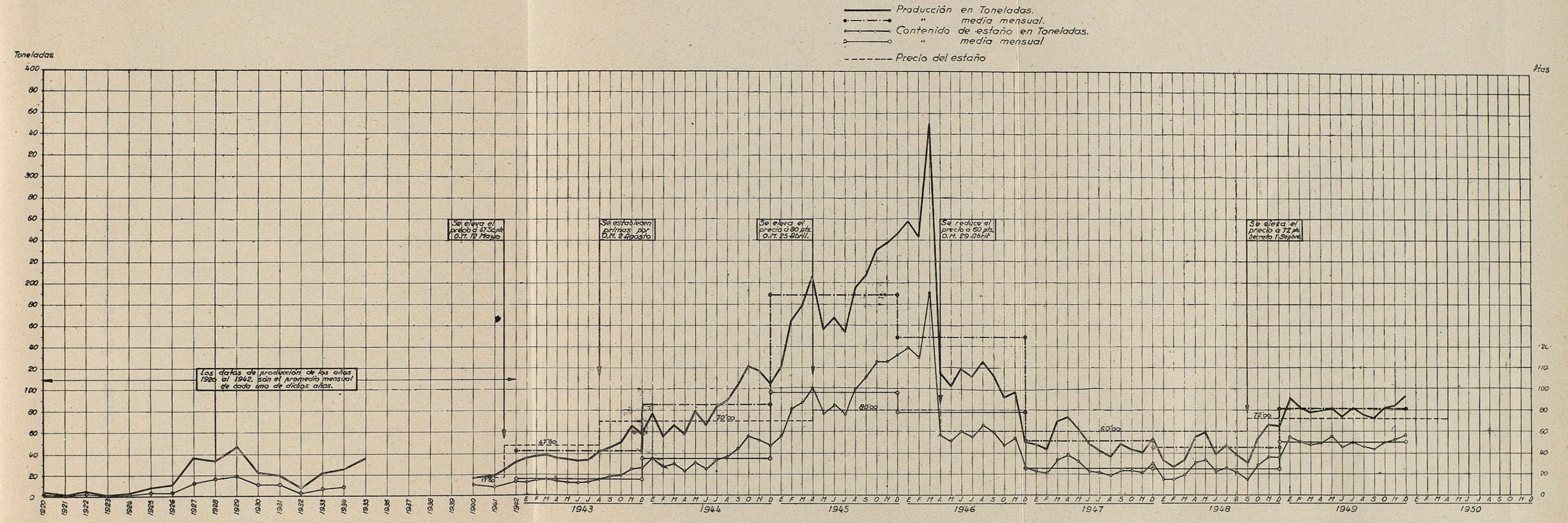
CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN

Más de un 60 % del estaño obtenido en las metalúrgicas nacionales tienen una ley mínima de 99,75 %, es decir, es apto para la fabricación de hojalata y satisfacer las especificaciones del grado «A» americano. Como la fabricación de hojalata es la aplicación que exige la máxima pureza en la calidad del estaño, se deduce que la industria nacional satisface totalmente las necesidades del consumo, en cuanto a calidad.

COSTE DE LA PRODUCCIÓN

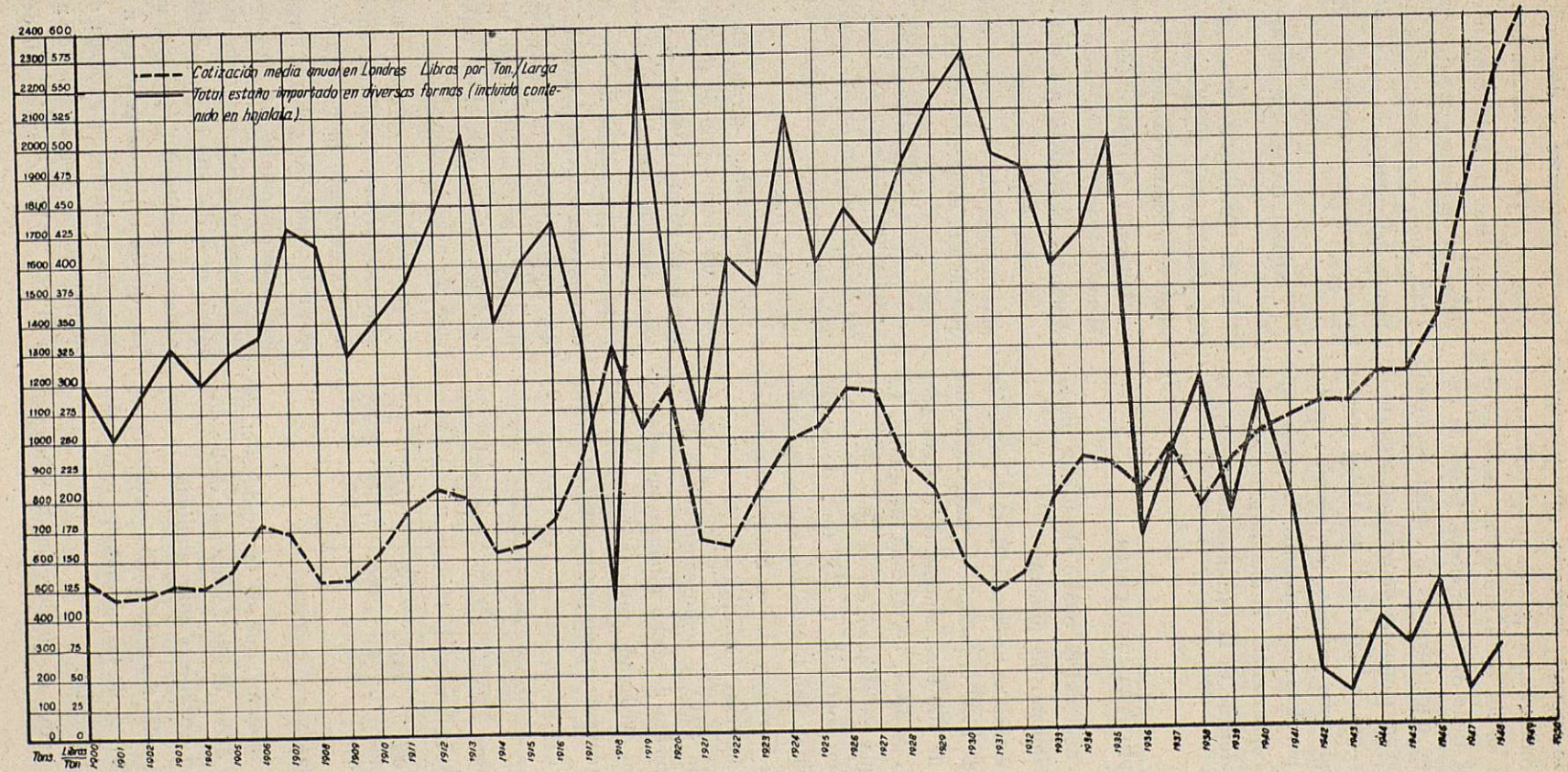
La industria metalúrgica nacional produce económicamente desde el punto de vista técnico, pero su escaso abastecimiento de minerales da lugar a costes de producción altos, por la repercusión que los gastos generales de fabricación tienen en la producción. Un factor importante, pues, para mejorar el coste de la producción es aumentar el abastecimiento para que las metalúrgicas funcionen, como mínimo, a un 60 ó 70 por 100 de su capacidad de producción. Otro factor que encarece el coste lo constituye el Impuesto de Usos y Consumos, que ascendió a un 3,48 % sobre el valor del mineral, y que da lugar, por término medio, a una carga de 1.500 pesetas en el tratamiento de la tonelada; cifra ésta verdaderamente elevada y que representa más del 50 % del costo industrial estricto de fabricación. La gran densidad económica del mineral de estaño, es decir, su elevado precio, aconsejan mo-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

COTIZACIÓN E IMPORTACIÓN DEL ESTAÑO



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dificación de este impuesto indirecto, cuyo porcentaje en el costo de producción no guarda proporción con la repercusión que en los otros minerales, tanto férreos como no férreos, tiene dicho impuesto. Existe la anómala situación de que, mientras el estaño importado no tiene más gravamen que un derecho arancelario de 0,10 pesetas oro, que, a la paridad, son 0,257 pesetas, el estaño nacional viene gravado, por término medio, en 2,50 pesetas por Usos y Consumos. Es decir, que en caso de libre concurrencia, la metalurgia que resulta protegida fiscalmente es la extranjera en contra de la nacional.

PRIMERAS MATERIAS

La producción nacional de estaño metal está limitada por el abastecimiento del mineral.

La minería de estaño se ha desarrollado a partir del año 1939. Antes de 1939 la producción nacional media de minerales era de 100 tons. anuales de concentrados del 60 % de ley, es decir, de 60 tons. de estaño. La producción máxima se alcanzó, en el año 1929, con 566 tons., y con un contenido de 239 tons. de estaño. En dicho año existían únicamente dos minas en explotación: una en La Coruña y otra en Pontevedra, ambas pertenecientes a empresas extranjeras.

A partir del año 1949, y como consecuencia de las medidas de incremento de dicha minería que adoptaron los Organismos del Estado, tuvo un desarrollo verdaderamente sorprendente, como puede verse en el cuadro siguiente:

Año	Concesiones en explotación	Superficie Ha.	Concentración del 60 % ley producido Tons.	Estaño contenido Tons.	Número obreros	Potencia instalada HP.
1939	8	906	232	139	700	450
1946	160	14.464	1.774	1.066	5.139	4.289
1949	(1) 95	10.889	976	585	3.046	3.028

(1) Datos provisionales.

Hay que hacer observar que de la producción de 1939, 167 tons., es decir, el 72 %, proviene de las dos minas de propiedad extranjera antes aludidas.

La producción de 585 tons. de estaño contenido en 1949, significa el 40 % de las necesidades nacionales mínimas de 1.500 toneladas.

En el diagrama anexo de producción de minerales puede observarse el desarrollo de esta minería desde 1920 a 1949, en relación con los precios.

Las cifras de 1949, muy inferiores a las de 1946, se deben al descenso que sufrió la producción a partir de 1946, como consecuencia de la baja de precio oficialmente, así como a la suspensión de la garantía de un precio mínimo remunerador fijado anteriormente.

POSIBILIDADES DE PRODUCCIÓN DE MINERAL

En la Ponencia de Minería se estudian ampliamente las posibilidades de la minería nacional. Por ello, no cremos necesario extendernos en más detalles sobre el particular, y sí resumir en esta Ponencia las conclusiones que se deducen en la de Minería que se puede concretar en los términos siguientes:

1.º En España existe una zona estañífera mucho más extensa de lo que se deducía del conocimiento que de esta minería se tenía hasta el año 1940.

2.º Son muchas las zonas, respecto de las cuales ninguna referencia existía hasta dicha fecha de existencia de criaderos de estaño, y en las que en estos últimos diez años se han puesto en actividad yacimientos de verdadero interés.

3.º Del examen de la relación estadística entre la curva de precios y la de producción de mineral, y hallando al mismo tiempo los «precios inflados» en pesetas, del año 1913 mediante los índices generales de precios al por mayor del Instituto Nacional de Estadística, para tener en cuenta así la disminución del poder adquisitivo de la peseta, se ve claramente que si bien los «precios» han sufrido un gran incremento desde 1940, éste ha sido el correspondiente a la depreciación de nuestra moneda.

La consecuencia que se obtiene de este examen es que ha sido factor determinante del desarrollo de la minería de estaño en España, la estabilidad de precios que a las empresas mineras aseguraban las disposiciones gubernamentales. La «escasa afición» del capital en España para las empresas minero metálicas determinó, antes del año 1939, y dadas las grandes fluctuaciones de precios del mercado, un apartamiento absoluto de las empresas privadas a esta actividad industrial. Sin embargo, la garantía de precio mínimo que existió, por las disposiciones de nuestro Gobierno, hasta el año 1946, determinó un desarrollo que no tuvo

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

precedente en todo lo que va de siglo, a pesar de que como en la postguerra del 14 se alcanzaron precios muy elevados.

4.º Las posibilidades de la minería de estaño en España han sido muy escasamente estudiadas. En contra de lo que, de un examen superficial, se pudiese deducir, la productividad de las explotaciones no es inferior a las de pareja importancia que existen en países tan productores como Bolivia, Malaya y Nigeria. El tipo medio de las minas españolas tienen su paralelo en centenares de explotaciones similares que trabajan en dichos países, al lado de otras explotaciones de mucha mayor producción unitaria.

5.º En resumen, se puede decir que hoy la minería de estaño en España es una minería nueva cuyas perspectivas y posibilidades han sido desconocidas totalmente hasta estos últimos años. Los resultados obtenidos permiten afirmar la conveniencia de un estímulo sistemático al desenvolvimiento de estas explotaciones, y al desarrollo amplio de las investigaciones y prospecciones mediante una política de apoyo a las empresas privadas, unido a una actividad con este mismo fin por parte del Estado.

PRIMERAS MATERIAS DE ORIGEN EXTRANJERO

Antes del año 1939, al no existir la industria metalúrgica del estaño en España, el abastecimiento de este metal se realizaba mediante la importación de lingote que, fundamentalmente, procedía de Inglaterra.

Naturalmente, hubiese sido más conveniente para la economía nacional la importación de mineral, pero esto no se realizaba por falta de instalaciones para su tratamiento. Al haberse montado, como queda dicho, después de 1939 diversas instalaciones, debe tenderse, para el abastecimiento de la industria en el déficit que se derive de la produción nacional de minerales, a la importación de mineral en vez de la de metal.

Estas importaciones de mineral antes del año 1929 hubiesen sido difíciles, ya que la producción minera mundial estaba monopolizada por Inglaterra, Bélgica y Holanda. Sin embargo, hoy la situación a este respecto ofrece mejores perspectivas, pues, por factores, análogos a los que han tenido lugar en España en estos últimos años, en la nación portuguesa se ha producido amplio desarrollo de la minería de estaño.

Portugal producía una media de 50 tons., escasas de estaño, contenido en minerales, hasta el año 1912. Durante la guerra mundial, como consecuencia del más alto precio, pasó a 288 tons. de media: Esta producción ascendió en el período 1934/38, a una media de 858 tons. y, durante la segunda guerra mundial alcanzó el máximo de 3.082 tons., y en el año 1949 la producción ha sido de 1.400 tons. de estaño contenido en los minerales; es decir, 2.500 tons. de mineral, o sea 28 veces la que tenía a principios del siglo. Por tanto, puede considerarse desarrollada importante minería de estaño en el vecino país.

Como las necesidades portuguesas de estaño se pueden cifrar en unas 400 a 500 tons., anualmente, existe un execedente para la exportación de más de 1.000 toneladas de estaño contenido, equivalente a 1.700 toneladas de mineral.

Dadas las graves e insuperables dificultades que, para el abastecimiento en estaño de nuestra industria se derivan de la distribución en el mundo de la zonas productoras cuando se presentan circunstancias anormales, ya que (aparte de la producción de mineral de Inglaterra, que es una pequeña parte de su consumo) no existe más zona productora de estaño en nuestro Continente que la Península Ibérica, es de aconsejar el estudio de acuerdos con el país vecino para la exportación de su excedente de mineral a España, con lo que se resolvería más económicamente que con la importación de metal el abastecimiento nacional, se daría trabajo a nuestras metalúrgicas hasta el pleno ritmo de producción y se garantizaría para un futuro de circunstancias excepcionales el suministro nacional.

La realización de un acuerdo con Portugal sobre el estaño podría resultar altamente beneficioso para ambos países, en lo que atañe al desarrollo de sus riquezas mineras.

CONCLUSIONES

Por todo lo anterior y en armonía con el criterio que mantiene la Ponencia de «Aprovechamiento e Investigación de Yacimientos Mineros», se estima conveniente la adopción de las siguientes medidas:

1.º Incrementar la minería nacional del estaño mediante la fijación de un precio mínimo durante un período de cinco años para los minerales; medida ésta

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que fué adoptada por otros países para la recuperación de la minería de estaño, devastada durante la guerra mundial, para el período de 1944 hasta junio de 1949. Otras medidas similares han sido adoptadas también en otras minerías; basta citar que el gobierno británico, para el desarrollo de la minería de uranio, ha garantizado a todos los productores de su Imperio un precio mínimo durante diez años, y, asimismo, la compra de todo el excedente de su producción.

2.º Modificación del Impuesto de Usos y Consumos al objeto de que, como máximo, grave el costo de tratamiento metalúrgico en un 10 % del total; es decir, que deberá fijarse, como máximo, en un 0,5 % del importe del mineral del estaño.

3.º Que la Dirección General de Comercio adopte las medidas pertinentes para la importación de minerales de estaño, especialmente de Portugal. Con ello se obtendría una reducción de un 20 % del costo de las importaciones y, al mismo tiempo, se incrementaría el ritmo de producción de las metalúrgicas nacionales, con la consiguiente reducción de sus costos.

4.º Establecimiento de derechos arancelarios proteccionistas en favor de la importación de minerales; es decir, que se mantenga el actual establecimiento de 0,10 pesetas oro para el mineral de estaño y se aumente el de igual cantidad que rige para el metal a una peseta oro.

5.º Puesto que actualmente la importación de minerales de estaño y sus aleaciones está monopolizada por el Instituto Nacional de Industria, se estima conveniente que en la Comisión correspondiente tuviese adecuada representación la industria metalúrgica privada, con lo que dicho Organismo contaría con la información y asesoramiento de esta rama de la industria en su política de importaciones.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES GENERALES

1.ª Que en las provincias metalogénicas principales se han explotado los yacimientos ricos, pero que deben existir (y en algunas partes se ha comprobado) yacimientos pobres que antes no eran explotables por falta de ley, pero que hoy pueden serlo organizando una explotación racional y de grandes vuelos, valiéndose para la preparación mecánica de nuevos métodos, como el de flotación, «Sink and Float», y también empleando nuevos procedimientos metalúrgicos, como los que se deben emplear en las piritas. También en esas provincias metalúrgicas importantes pueden existir criaderos nuevos, que conviene investigar. La explotación de escombreras y rellenos de las minas antiguas pueden rendir grandes beneficios.

2.º La explotación de estos criaderos tiene que hacerse previa la formación de cotos grandes, en donde se puedan ampliar instalaciones que diluyan, en parte, los gastos generales y que hagan los servicios con la mayor economía posible.

3.ª Que juzgamos muy interesante para el desarrollo del plan de investigación la cooperación de la industria privada, y que hasta sería muy interesante la cooperación americana empleando los procedimientos propios de aquél país.

4.ª Que florecería mucho la Minería, sobre todo la que proporciona minerales de exportación, si se pudiera dar un valor a la moneda extranjera más alto que el oficial de ahora. Hay substancias minerales que podrían ampliar su mercado en el extranjero con sola la adopción de esta medida y hasta podrían pasar la frontera substancias nuevas, que hoy no pueden ponerse en explotación por ser bajo el precio de venta.

5.ª Que se soliciten del Gobierno medidas especiales relacionadas con el comercio y precio del mineral, muy especialmente, para fomentar la producción de estaño.

Sólo como orientación de la importancia de las investigaciones que propugnamos en este informe y que se pueden desarrollar en un plazo de cinco años, nos atrevemos a indicar que el importe total sería de 400 millones de pesetas repartidas por substancias del modo siguiente:

	Pesetas
Investigaciones de petróleo	240.000.000
— de carbón...	46.000.000
— de cobre...	11.000.000
— de plomo	80.000.000
— de aluminio	4.500.000
— de radio	5.000.000
— de varios	5.000.000
Total	391.500.000

Es posible que convenga hacer también investigacio-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

nes de otros minerales, como de titano, sales sódicas, etcétera, cuya utilización se extiende cada vez más y, por consiguiente para esta investigación consideramos una cifra de 5.000.000 de pesetas.

El Sr. López Azcona interviene para proponer que a las conclusiones provisionales del anterior trabajo se incluyan las siguientes:

1.ª Fomentar la investigación de criaderos de uranio en las zonas de la provincia de Córdoba inmediatas a las conocidas y no permitir la explotación de las actuales sin un perfecto plan de investigación.

2.ª Fomentar la investigación de las playas en donde sea posible la existencia de arenales de "monacita".

3.ª Dada la importancia que ha de tener la energía nuclear en la propulsión marítima y aérea, debe procurarse la formación del personal especializado en energía nuclear por los correspondientes organismos de investigación.

El Sr. De la Concha propone figure también en las conclusiones la investigación de las pizarras bituminosas, puesto que toda España es un yacimiento de esta substancia.

Al objeto de dar lectura de los trabajos presentados se aplaza la discusión de este asunto a posteriori, *y el Sr. Inza, con la conformidad de los reunidos, lee el trabajo siguiente, núm. 178.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

N.º 178. - Investigación de margas bituminosas en Marruecos y su aplicación a la obtención de carburantes y fabricación de cementos

Autores: D. JOSÉ M.ª IRIZA TUDANCA, D. AUGUSTO GÁLVEZ-CAÑERO, D. JUAN DE LIZAUR ROLDÁN y D. JOSÉ DE LA VIÑA Y VILLA
Ingenieros de Minas

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más importantes de la economía moderna, aguzado por el transcurso del tiempo, es el de la producción de carburantes líquidos. Las necesidades crecientes del consumo han hecho aumentar las producciones petrolíferas en todos los yacimientos conocidos a cifras insospechadas, al tiempo que el transporte de los carburantes desde los países productores a los consumidores iba acaparando un porcentaje cada vez mayor de la flota mundial.

Era, pues, evidente, que ante el temor de una interrupción en el suministro de carburantes con el consiguiente colapso que esto supondría para la economía, fueran cada vez mayores los esfuerzos para industrializar y poner a punto la obtención de carburantes a partir de otras materias primas diferentes del petróleo bruto, no sólo en países no favorecidos con recursos petrolíferos naturales, sino aun en aquéllos que, disponiendo de abundantes reservas, se preparan ante un lejano, pero posible, agotamiento de sus criaderos.

Para conseguir esto, los esfuerzos se han orientado, en unos casos, hacia la hidrogenación de carbones, y, en otros, hacia la destilación de pizarras bituminosas, según haya sido la materia prima disponible en cada caso. Las últimas reúnen la ventaja de no tener más aplicación que la de obtención de aceites, mientras que los carbones tienen importantísimo lugar por sí mismos en la industria moderna.

Conocidas desde hace tiempo la existencia de margas bituminosas en la Zona de Protectorado Español en Marruecos, por antiguos trabajos de los miembros de la Comisión de Estudios Geológicos y Petrolíferos de Marruecos; a ésta le fué, pues, encomendada, en el año 1946, su investigación y estudio.

Esta fué la causa que motivó el presente trabajo, con el que modestamente desearíamos contribuir a las

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tareas que para el engrandecimiento económico e industrial de España se ha impuesto el II Congreso Nacional de Ingeniería.

En la primera parte de nuestro trabajo exponemos las generalidades sobre las margas bituminosas que, aunque conocidas, estimamos de interés para centrar nuestro estudio, consignando entre ellas los medios industriales —hornos de destilación— que permiten su aprovechamiento.

En la segunda parte, la más amplia, describiremos las investigaciones realizadas hasta la fecha por la Comisión de Estudios Geológicos y Petrolíferos de Marruecos en los campos que hemos trabajado. A su estudio geográfico y geológico se une la descripción de los trabajos efectuados en ellos para su investigación.

En la tercera, previas unas consideraciones sobre las dificultades habidas para la toma de muestras de las margas bituminosas, se estudian los ensayos de laboratorio con ellas efectuados, para, tenidas en cuenta su potencia calorífica, apuntar la posibilidad que encierra el aprovechamiento de las margas de baja ley a la fabricación de cemento, lo que facilitaría el aprovechamiento de las margas más ricas para la obtención de carburantes líquidos.

I.—GENERALIDADES SOBRE LAS MARGAS BITUMINOSAS

Si lejos estamos aún de conocer la verdadera constitución del carbón, a pesar de los esfuerzos hechos para lograrlo, más lejos estamos, todavía, de conocer la de la pizarra bituminosa, de empleo industrial mucho más reciente.

Las pizarras bituminosas son pizarras arcillosas, silícicas o calizas impregnadas de la substancia insoluble, bitumen que da lugar a los hidrocarbonos, por pirogenación. Por tanto, las pizarras sólo los contienen potencialmente en forma del «keroseno» que producen al sufrir carbonización, y «cracking», cuando se las destila. De aquí les viene el nombre de piroesquistos, con que se las suele conocer en Francia.

Así como la hulla proviene de la descomposición de materias de origen vegetal, las pizarras bituminosas provienen de la descomposición en aguas fuertemente salinas (salmuera) de materias animales (reptiles y peces) y vegetales (algas, etc.). Formadas en lagunas en comunicación con el mar y al borde de zonas vivamente plegadas, las condiciones para la génesis de las pizarras bituminosas han sido mucho más generales que las necesarias para la formación de los petróleos, lo que da lugar a la mayor abundancia de criaderos de las primeras en relación con los segundos.

Los métodos micrográficos modernos han señalado dos grandes grupos de pizarras bituminosas:

a) Pizarras bituminosas con pirobitumen visible, en forma de restos de algas o escamas, como las torbanitas de Escocia y las kukersitas de Estonia.

b) Pizarras bituminosas, propiamente dichas, de pirobitumen no visible, en las que no es posible apreciar restos animales.

En este segundo grupo, más abundante que el primero, se colocan las pizarras bituminosas objeto de este estudio.

En las pizarras bituminosas aparece, frecuentemente, algún fragmento de una substancia negra, conocida con el nombre de «coprolita». Esta substancia es un escremento fosilizado que sirve para conocer el régimen de vida de los animales que les dieron origen. Estos nódulos aparecen en muy pequeña cantidad y son factores accidentales en la formación de la pizarra.

La pizarra bituminosa forma el primer grupo en la clasificación de los combustibles naturales de Joung. El segundo está formado por los carbones, mientras que los petróleos naturales formen el tercero. Las primeras no contienen los hidrocarburos más que en forma potencial, y se obtienen de ellas como consecuencia de un proceso físico químico: la destilación o pirogenación. Tratadas con los disolventes orgánicos naturales, cloroformo, benceno, sulfuro de carbono, no ceden ningún hidrocarburo. Esto permite ditinguirlas de las rocas asfálticas, que son rocas, principalmente, calizas, impregnadas de asfaltos, resultantes de la alteración por oxidación y polimerización, de las que se las separa fácilmente por disolución en cloroformo o benceno.

Es regla general que entre las diferentes capas de carbón el contenido en materias volátiles va disminuyendo con la profundidad de las capas. Esta disminución, según la antigüedad estratigráfica, no se altera por la inversión de las capas, a consecuencia de movimientos tectónicos. Así, pues, en una cuenca el car-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bón más antiguo es el menos rico en hidrógeno combinado.

Asimismo, en una serie estratigráfica que contenga varios yacimientos petrolíferos, las capas más antiguas contienen el porcentaje más elevado en productos parafínicos, mientras que los estratos más modernos, independientemente de toda consideración de la profundidad actual, tienen tendencia a contener hidrocarburos hafténicos, más pobres en hidrógeno, con características físicas iguales. Así, pues, de modo contrario a lo que ocurre con el carbón, el aceite más antiguo de una cuenca petrolífera es el más rico en hidrógeno.

Conocidas las anteriores relaciones que ligan, por decir así, a las dos clases de combustibles que contienen hidrocarburos liberables, se han realizado muchos esfuerzos para encontrar alguna relación entre las diferentes capas de pizarra que contienen hidrocarburos potenciales, pero sin resultados positivos hasta la fecha. Esto trae como consecuencia la necesidad de un reconocimiento muy minucioso del criadero, no sólo en superficie, sino también en profundidad, sin lo cual nunca podrá darse completa la investigación.

Las pizarras bituminosas de la zona estudiada no se diferencian de la marga ordinaria más que por su color obscuro y por su densidad. Son uniformemente mates, a excepción de alguna pequeñísima impresión fósil, brillante, que aparece raramente. Estas impresiones, posiblemente debidas a escamas de peces, se han recogido en pizarras de muy débil espesor (algunos milímetros), fácilmente exfoliables en hojas de muy buen tamaño.

El reconocimiento de la pizarra bituminosa en el campo es factor muy importante en la investigación. Una manera de conocer, cualitativamente, su riqueza, es por medio de su densidad. Las margas bituminosas casi estériles recogidas dan densidad casi constante del 2,3, mientras que en alguna recogida en la zona fronteriza del Borch y que dieron en la retorta Fischer 130 litros de aceite por tonelada, la densidad fué de 1,8. Las densidades de pizarras menos ricas están comprendidas entre estos dos extremos, aunque sus diferencias sólo son apreciables en el laboratorio. No obstante, sería prudente generalizar esto no comprobado todavía más que en casos determinados, pero en número insuficiente para su generalización.

Las diferencias en el color y la textura (más fina cuanto más elevado el porcentaje en aceite), permiten distinguir las pizarras ricas de las estériles. También en trozos de pequeño espesor es posible reconocer las pizarras de elevado porcentaje, porque arden con sólo acercarles durante breve rato la llama de una cerilla. No queremos dejar de señalar aquí el enriquecimiento gradual y paulatino en aceite que sufren las margas estériles del muro, para llegar, poco a poco, a convertirse en pizarras bituminosas. Esto hace que, si son estas últimas las que la erosión ha puesto al descubierto, son fácilmente discernibles a simple vista, pero esto se hace mucho más difícil si son las intermedias las que aparecen en el afloramiento; lo que obliga en muchos casos a efectuar calicatas que pongan al descubierto varios o todos los niveles.

PRINCIPALES YACIMIENTOS DE PIZARRAS BITUMINOSAS

Se conocen muchos yacimientos de pizarra bituminosa, aunque la ley varía mucho de unos a otros. Ahora bien, algunos de ellos han alcanzado mucha importancia, desde el punto de vista industrial, al irse reduciendo el tanto por ciento de aceite necesario para su explotación económica en el transcurso de los años, con las posibilidades que han ido ofreciendo los modernos hornos de destilación.

Esto ha permitido el estudio de grandes yacimientos, cuyas leyes de aceite no permitían su explotación en el momento de su estudio, ya que, en el caso de ser grandes los tonelajes de mineral, podían constituir importantes reservas en potencia, hasta tanto sea posible su explotación.

El problema de la explotación de las pizarras está ligado al precio de venta de las gasolinas, que proceden de los petróleos naturales. Por ello, un yacimiento de pizarra bituminosa puede ser considerado como mena o no, según que pueda ser o no beneficiado industrialmente. Con el transcurso del tiempo, la disminución de las reservas de petróleo en el mundo irá haciendo pasar a primer plano yacimientos que hoy día no serían explotados.

Así, pues, según Berthelot, es explotable con beneficio industrial toda capa de pizarra bituminosa que tenga un porcentaje igual o mayor que el 5 %, con espesor igual o mayor de 35 cms. Esto da idea de la im-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

portancia que podrán ir adquiriendo con el tiempo criaderos hoy día sin aplicaciones industriales.

Pasaremos, pues, revista a los principales yacimientos hoy día conocidos:

Europa.—Los yacimientos escoceses enclavados en los condados de WEST y MIDLOTHIAN, son muy importantes. Tienen reservas de unos 500 millones de toneladas. Explotan por año de 1.500.000 toneladas a 3.000.000 de toneladas. Dan 75 a 180 litros de aceite por tonelada, y el espesor de las capas bituminosas varía entre 1,5 y 5 metros.

En Estonia se encuentran los yacimientos de kukersita, que tienen gran importancia, pues sus reservas se calculan en 5.000 millones de toneladas. Dan de 20 a 25 % de aceite por tonelada de pizarra, y vienen a explotar de un millón y medio a dos millones de toneladas de pizarra por año.

En Checoeslovaquia han sido señalados yacimientos, al parecer, bastante importantes.

En Francia existen los yacimientos del Allier y de Autum, hoy día ambos explotados para su aprovechamiento industrial.

En España podemos citar, en primer lugar, el importante yacimiento de Puertollano, perfectamente estudiado y conocido. Existen varias capas, y la ley del mismo oscila entre el 10 y el 13 %.

Asia, América y Oceanía.—En Manchuria se encuentran importantes yacimientos, con leyes comprendidas entre el 5 y 6 %, que son explotados industrialmente. Esto ha permitido crear una industria muy importante que producía, en el año 1940, más de 300.000 toneladas.

En los Estados Unidos se encuentran también importantes yacimientos, especialmente en Pensylvania, que representan una reserva en aceites de más de 14.000 millones de toneladas.

En el Canadá se encuentran abundantes yacimientos con pizarras que dan de 32 a 210 litros por tonelada. Sus reservas son muy importantes.

En Australia hay pizarra bituminosa en Tasmania, en las que las capas llegan a alcanzar espesores hasta de 10 metros. Los porcentajes en aceite han llegado a ser muy elevados.

HORNOS DE DESTILACIÓN DE PIZARRAS. GENERALIDADES. CLASIFICACIÓN

Los hornos de destilación de pizarras, derivados, en su principio, de los de destilación de lignito, son de tipos muy variados y formas diversas. Se ha utilizado la experiencia metalúrgica que sobre los hornos en general la práctica de aquélla ha ido perfeccionando.

Así, pues, por su forma externa, los hay cilíndricos, de túnel, de cuba, de solera, etc., y, en cuanto a su forma de calefacción, los hay de interna, externa y mixta.

Todos ellos persiguen realizar la destilación o pirogenación en las condiciones más adecuadas para conseguir rendimientos muy elevados. Se ha buscado, también, el que los balances térmicos de la operación sean favorables.

La temperatura de funcionamiento tampoco ha sido fija, ya que varían de unos tipos a otros, de 450° a 1.200° C., según realicen la combustión del carbono fijo dentro del mismo horno.

La pizarra bituminosa es llevada de manera gradual y progresiva a la temperatura de destilación. Ésta comienza a unos 300° y termina completamente a los 500°. Sin embargo, el horno, para conseguir esta temperatura, quema, a veces, el carbono fijo contenido en la pizarra y que permanece en el residuo, mediante la inyección de aire, con lo que la temperatura se eleva a 1.000 a 1.200° C.

Así, pues, se pueden clasificar así los diferentes tipos de hornos conocidos:

- Hornos de destilación
  - Calefacción externa
    - Cilíndricos (Creveney, Lewey, Termax).
    - Giratorios (Dawidson, Reinchemetalwerk).
    - Con solera móvil (Ab-der-Alden).
    - Cuba (Reich metalwerk).
  - Calefacción mixta (Externa e interna).
    - Pumpherton.
    - Young.
    - Broxhurn.
  - Calefacción interna
    - Con circuito abierto.
      - Gasógeno estoniano.
    - Con circuito cerrado
      - Del gas.
        - Este-Kivioli.
        - Lurgi.
        - Lanz.
        - Fu-Sun.
      - De vapor.
        - Grande Parcisse modificado.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En esta clasficación se atiende a la forma de calefacción, que es el factor más importante que interviene en la marcha del horno. No obstante, se podría hacer otra clasificación, teniendo en cuenta la clase de combustible que proporcione la diferencia de calorías del balance término.

En los hornos de calefacción externa la pizarra marcha, horizontal o verticalmente, en un recinto calentado exteriormente por los humos de combustión. En los de calefacción interna el calor necesario para la destilación de la pizarra es proporcionado por un gas caliente que circula entre la masa de mineral. Este último procedimiento, además de la ventaja de un rendimiento térmico más elevado, presenta la ventaja de un arrastre más rápido de los hidrocarburos fuera de la zona de destilación —400 a 500°— en general, en donde una estancia prolongada trae consigo los riesgos de un «cracking». Ahora bien, esta ventaja no debe llevarse al extremo, ya que, para la destilación de la pizarra se necesita un «cracking» mínimo, ya que sin él no se obtendrían más que alquitranes excesivamente espesos, con densidad muy cerca de la unidad, que matizarán la formación de muy incómodas emulsiones con el agua de condensación y los polvos arrastrados. Hecha esta observación, es evidente que un aceite bruto que corresponda a condiciones mínimas de fluidez y de no emulsión haga siempre, al ser reducido el «cracking» mínimo posible, para ser enviado posteriormente a una instalación adecuada, donde el «cracking» sea dirigido convenientemente, para conseguir la producción de gasolina más ventajosa.

El horno Pumpherton, que goza de las particularidades de utilizar los dos medios de calefacción, ha sido indiscutiblemente hasta hace unos años el mejor instrumento de destilación de pizarras bituminosas de porcentajes medios, y es, actualmente, el único utilizado en España.

Una discriminación importante que puede hacerse y que puede servir como medio de clasificación, es la que separa a los hornos que utilizan el carbón fijo de la pizarra de los que no lo utilizan.

Los hornos utilizados para la destilación de los menudos de pizarra son, precisamente, los hornos del primer tipo, es decir, los de calefacción externa. La razón de ello está en que, por ser los finos muy compactos, impiden la circulación normal del gas de convección, lo que motiva se formen en la carga de pizarra cráteres o chimeneas que traen por consecuencia un aumento de la temperatura, con aglomeraciones y atasques que impiden el funcionamiento normal de los hornos de calefacción interna. A esto se añade el que los aceites se carguen de polvos procedentes de los finos. Por ello, pese a su mal rendimiento térmico en comparación con los hornos de calefacción interna, siguen siendo utilizados para el tratamiento de los menudos.

Después de estas generalidades sobre las tres principales clases de hornos, vamos a decir algunas cosas en particular sobre cada uno de los diferentes hornos citados.

HORNOS CILÍNDRICOS GIRATORIOS

Al principio hubo gran tendencia a utilizar antiguos hornos de la industria metalúrgica. Entre los primeros utilizados podemos citar el Creveney, de tipo análogo a los que se utilizan en la industria del cemento.

Presenta, sin embargo, muy graves inconvenientes, entre los que se pueden citar los siguientes:

a) Rendimiento térmico muy bajo, aun en el caso de utilizar los humos resultantes para la calefacción de las pizarras que entren en el horno.

b) Los prensa-estopas para evitar el escape de gases son muy delicados y dan lugar a gastos de entretenimiento muy elevados.

c) Peligro de entradas de aire en el interior del horno, con el evidente peligro de incendio, o, por lo menos, de oxidación de los aceites, con el consiguiente aumento de asfaltos.

Con el fin de evitar el «cracking» de los hidrocarburos a consecuencia de una temperatura muy alta, se reduce el espesor de la capa de pizarras a 8 ó 9 centímetros de espesor, y aun incluso, a menos en los más modernos, ya que esto permite disminuir la temperatura de los humos de calefacción. Además, esto impide la corrosión de los aceros de que están construídos los hornos y evita la pérdida de resistencia mecánica a consecuencia del régimen a que está sometida constantemente.

Como consecuencia de la reducción de espesor de la capa, se introdujo en su interior un tubo fijo concéntrico con el eje del horno, con unas raederas sujetas al mismo. Esto trajo como consecuencia dos ventajas: la primera, que la evacuación de los gases se

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

hacía más rápidamente por unos orificios inclinados 45° hacia su parte exterior a fin de evitar su obstrucción por los polvos, y segunda, que rompe la bóveda que tiene tendencia a formarse.

Como ejemplo de este tipo podemos citar el horno Dawidson, que sólo difiere de los tipos franceses en que, en vez de una raedera fija, tiene una móvil a lo largo de una pieza en forma de U que se encuentra en la parte superior del tubo concéntrico con el eje del horno.

Los humos, antes de abandonar el horno, calientan otro más pequeño también giratorio colocado entre la entrada de la pizarra y el horno propiamente dicho, destinado al secado de la pizarra.

En la parte final del horno propiamente dicho existe una tolva vertical destinada a la evacuación de la pizarra tratada, que va a parar a un hogar inferior, que quema el carbono fijo destinado a la calefacción del horno. Este tipo, utilizado en Estonia, tiene la desventaja de no servir más que para pizarras de elevado porcentaje en aceite y carbono fijo 15 %, aparte de los inconvenientes inherentes a este tipo de hornos.

HORNOS DE SOLERA MÓVIL

Son variente de los hornos de calefacción externa, en los que se utiliza el principio de los análogos empleados en metalurgia. El mineral se sitúa en una solera móvil que se calienta por la parte inferior. Reúnen casi el mismo número de los hornos giratorios y, además, el de que gran número de sus partes mecanizadas han de hallarse a elevada temperatura.

HORNO DE CUBA RHEINMETALL WERK

Por último, podemos citar este tipo de horno entre los de calefacción externa. Está compuesto por baterías de elementos intercambiables, constituídos cada una de ellas por dos tubos verticales entre los cuales se destila la pizarra. El diámetro de los tubos es de 40 cm., y su altura de unos 10 m. Cada elemento trata de 30 a 35 tons. por día, con rendimiento muy elevado en aceite (aseguran sus constructores que llega al 105 % del ensayo «Fischer»), y es capaz de tratar finos pulverulentos, sin que el aceite obtenido se cargue mucho de polvos. La calefacción está asegurada por un quemador invertido colocado en la parte superior del horno, lo que le permite llegar a buen rendimiento calorífico, merced al cuidadoso calorifugado de su parte exterior.

HORNOS DE CALEFACCIÓN MIXTA

Este tipo de hornos asegura su calefacción por conducción a través de la pared externa del horno y por la circulación de gases en el interior del mismo. Los gases se producen por la combustión, en su parte inferior, del carbono fijo contenido en la pizarra, mediante una inyección de aire y de vapor que acelera su paso a través de la retorta de destilación. El tipo más utilizado ha sido el Pumpherton, que tiene altura de total de 10 m. En su parte superior, bajo una tolva de carga, tiene una retorta de fundición, con diámetro medio de 70 cm. y altura de unos 4,60 m. En la parte inferior se continúa por una retorta de ladrillo refractario.

La pizarra que desciende a través del conjunto experimenta la destilación de sus hidrocarburos en la retorta de fundición, después de lo cual entra en la retorta de material refractario. Se eleva gradualmente la temperatura hasta producir la gasificación. En las instalaciones más modernas el horno se calienta con los gases fijos producidos por la destilación de la pizarra, complementados, si la pizarra es pobre, con la aportación de gas producido en un gasógeno. El vapor necesario para la gasificación se produce en calderas que aprovechan el calor latente de los humos. Dicho vapor se expansiona previamente en una turbina que proporciona la energía necesaria para la fábrica, y que es introducido, a continuación, en los hornos. La cantidad tratada en los primeros hornos de este tipo era de 4 tons. por día. En los más modernos se ha llegado a la capacidad de 7 tons. diarias, merced a que la duración del paso de la pizarra en el horno ha sido reducido a 24 horas en lugar de las 36 que antiguamente se tardaba. Se ha intentado remediar la débil capacidad de tratamiento con calefacción más intensa de su superficie exterior, pero esto ofrece graves inconvenientes, que traen como consecuencia disminución y aun parada en el descenso de la pizarra. Se ha intentado remediar con la introducción de aire en la parte inferior que, además de la combustión del carbono fijo, transforma los compuestos ferrosos en férricos, que la experiencia ha demostrado son más frágiles que

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

los residuos pastosos formados cuando el hierro se encuentra en estado férrico.

Ahora bien, esta introducción del vapor y del aire en la base impide el desenciamiento del gas. En efecto, la cantidad de gas producido por tonelada de pizarra es de 30 a 35 m^3, cuando no hay inyección de vapor, y contiene 120 gramos de gasolina por metro cúbico. Si se inyectan 475 kgs. de vapor por tonelada de pizarra, la cantidad de gas sube a 400 m^3, que no contienen por m^3 más que 10 grs. por tonelada, lo que lo hace de muy difícil recuperación.

Por ello, aunque este horno reúne ciertas ventajas, tiene muchos inconvenientes, entre los que se pueden citar los siguientes:

1.º Débil capacidad diaria de tratamiento.

2.º Gastos de inmovilización de capital muy elevados, con relación a los hornos de circuito cerrado de gas.

3.º Marcha discontinua; y

4.º Difícil desenciamiento del gas.

HORNOS DE CALEFACCIÓN INTERNA

Vamos a tratar ahora de los hornos de calefacción interna, que son los más modernos. Podemos distinguir entre ellos dos tipos: los primeros, con circulación abierta de gas, y los segundos, con circulación cerrada.

De los primeros se puede citar el gasógeno estoniano, creado y utilizado en Estonia para el tratamiento de las kukersitas, de gran porcentaje en aceite. La capacidad de tratamiento diario es de unas 40 tons., y la calefacción está asegurada por la carbonización de la pizarra en su parte inferior, por una inyección de aire y agua. Como consecuencia, las gasolinas están muy diluídas en el gas, por lo que resulta muy difícil su recuperación. La pizarra se carga en su parte superior y va aumentando gradualmente su temperatura, y en la parte media empieza su destilación, que es asegurada por los gases calientes que ascienden de la parte inferior del gasógeno. En la parte final de su recorrido, mediante el aire primario se carboniza el carbono fijo, que asegura las necesidades caloríficas del conjunto. La inyección del vapor de agua permite destilación más completa de la pizarra, al mismo tiempo que reduce la importancia del «cracking» de los vapores de aceite.

Para permitir la circulación de los gases y vapores en su interior, hay que eliminar completamente todos los finos y todo el polvo de la pizarra, por lo que no se trata en ellos más que pizarra de 45 a 115 mm. Los gases obtenidos después de la condensación del aceite tienen potencia calorífica de 1.200 calorías, y son utilizados en la producción del vapor necesario para la destilación de la pizarra; queda un remanente de 0,3 m^3 por kilogramo de pizarra para destinarlo a otros fines industriales. En los últimos modelos, con objeto de asegurar mejor destilación de la pizarra, una tercera parte de los gases recogidos después de haber eliminado el alquitrán, por condensación, son recirculados, es decir, llevados a la base del gasógeno para su mezcla con el vapor de agua y aire primario. Como puede deducirse de esto, este tipo de horno no conviene más que para pizarras de gran porcentaje de aceite y carbono fijo, como las kukersitas de Estonia.

HORNOS DE CALECCIÓN INTERNA CON CIRCUITO CERRADO

Vamos a describir ahora los hornos modernos de destilación de pizarra, en los que se utiliza el principio de la destilación del gas como vehículo para la calefacción de la pizarra.

En esta clase de hornos, que tienen ligeras diferencias entre sí, pueden citarse el horno Lurgi, el de la Grande Parcisse, el Fu Sun, etc., que aplican todos ellos el mismo principio.

En ellos, para la calefacción de la pizarra se utilizan los mismos gases destilados que, pasando por entre los intersticios de la pizarra, la calientan, con la ventaja extraordinaria de que la superficie de calefacción es igual a la de todos los fragmentos de pizarra que se someten a destilación.

Cabe distinguir en todos ellos cuatro fases principales, que son:

a) Secado de la pizarra y calefacción de la pizarra a 200º aproximadamente, para evitar la condensación de los vapores de aceite de pizarra, cuando pase a la zona siguiente.

b) Destilación de la pizarra a temperaturas de unos 450º a 500º C.

c) Gasificación del carbono fijo mediante una corriente de aire introducida en el mismo; y

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

d) Enfriamiento de los residuos de la combustión antes de su evacuación.

La calefacción en las tres primeras fases citadas se consigue por medio de tres circuitos gaseosos completamente independientes unos de otros.

La zona destinada a la destilación de la pizarra es recorrida horizontalmente por una mezcla de vapor de agua y vapores de aceites formados en esta misma fase, y que, en su circulación por medio de un ventilador, es llevada a la temperatura necesaria en un recalentador independiente del horno. En otros tipos esta temperatura se consigue por la introducción de los humos resultantes de la combustión de los gases permanentes en una cámara separada del horno. La diferencia fundamental de uno y otro tipo de horno está en que en los primeros no hay mezcla disolución de los vapores de aceite con los productos resultantes de la combustión, mientras que en el segundo procedimiento la hay, con la desventaja de aumentar el volumen total de gases que precisa condensar.

La combustión del carbono fijo asegura la cantidad de calorías necesarias para la destilación de la pizarra. En efecto:

Para la destilación de una tonelada de pizarra son necesarias:

$$1.000 \times 0{,}280 \times 450^{\circ} = 134.400 \text{ calorías}$$

teniendo en cuenta que el calor específico de la pizarra es 0,280, y contando con un rendimiento calorífico en el horno del 60 %, esta cifra se transforma en 230.000 calorías.

Ahora bien, suponiendo que la pizarra tratada tenga sólo un 6 % de carbono fijo, la combustión de la totalidad de este carbono contenido en la pizarra nos proporcionará:

$$60 \times 8.100 = 486.000 \text{ calorías.}$$

Este calor se consume:

a) Una parte, en subir la temperatura de la pizarra de 400° a 800°; temperatura necesaria para la combustión del carbono fijo contenido en la pizarra, o sea, que teniendo en cuenta que la pizarra ha sufrido una disminución de peso del 10 %, por la destilación del aceite, se necesitan:

$$(800 - 450) \times 0{,}280 \times (1.000 - 100) = 88.200 \text{ calorías.}$$

b) En subir la temperatura del aire de combustión de la temperatura ambiente a que entre en el horno a 900° (temperatura a la que se produce la combustión del carbono fijo). Suponiendo un calor específico constante para el aire de 0,303 caloría por m^3 y teniendo en cuenta que son necesarios 10 m^3 de aire por kilo de carbono, representa:

$$10 \times 0{,}303 \times 60 \times 900 = 163.320 \text{ calorías.}$$

Esto supone un total de 163.320 + 88.200 = 251.520 calorías, y queda un remanente de:

$$486.000 - 251.180 \text{ calorías,}$$

suficiente para asegurar la destilación de la pizarra, pues que, en la cifra de 230.000 calorías necesarias, ya se había tenido en cuenta el rendimiento calorífico del horno.

En condiciones normales en estos tipos de hornos se extrae del 85 al 98 % del aceite contenido en la pizarra tratada.

Estos hornos constan, generalmente, de una cámara superior de precalentamiento y secado de la pizarra, donde el calor es suministrado por humos que ceden parte de su calor latente antes de abandonar el horno.

De esta cámara pasan a otra inferior donde se realiza la destilación de la pizarra; en ella, al ser atravesada por los gases calientes, se alcanza la temperatura de destilación y se desprenden los vapores de aceite que pasan después a la condensación para la obtención de los crudos.

A continuación, por una elevación de la temperatura se produce en una tercera cámara con inyección de aire la combustión del carbono fijo que permanece en la pizarra. De esta cámara es evacuada la pizarra al exterior después de haber sido o no aprovechado el calor latente de la misma, según el tipo del horno empleado.

Hemos hecho en las páginas anteriores breve disquisición acerca de los diferentes tipos de hornos empleados en la destilación de la pizarra, por ser el punto fundamental del tratamiento de la misma. Su perfeccionamiento ininterrumpido ha permitido el tratamiento de pizarras de leyes cada vez más bajas, con procedimientos de trabajo cada vez más sencillos y perfeccionados que simplifican extraordinariamente los procesos seguidos para el agotamiento de la pizarra en los antiguos tipos de hornos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

LEY MÍNIMA DE EXPLOTACIÓN

Éste es un concepto sobre el que se ha escrito mucho en tiempos anteriores a la última guerra mundial. El objeto propuesto era el determinar la ley de aceite mínima que podía tener una pizarra para que fuese explotable. Éste es problema que, no sólo en este campo tiene interés, sino en todos aquéllos de la explotación de minerales, si entra en el concepto de mena. Como ésta queda definida en los tratamientos de geología, es todo aquel mineral que es susceptible de ser beneficiado industrialmente.

Es, pues, más que concepto geológico, concepto económico, ya que son fundamentalmente factores económicos y no mineralógicos los que, en definitiva, le dan tal carácter. El alejamiento de las zonas industriales, las vías de comunicación, las facilidades de la venta de productos, la facilidad de suministro de las materias complementarias de la fabricación, la mano de obra, etcétera, pesan sobre el precio del producto terminado, dando lugar a que una misma pizarra sea explotable en un lugar determinado y, en cambio, en otro, no lo sea.

II.—INVESTIGACIÓN DE MARGAS BITUMINOSAS EN EL PROTECTORADO ESPAÑOL DE MARRUECOS

La investigación de las margas bituminosas se ha realizado, hasta la fecha, en los campos siguientes:

Campo de Megaret.

Campo de Melusa.

Campo del Arba-el-Aiaxa.

Campo del Jemis de Beni-Arós.

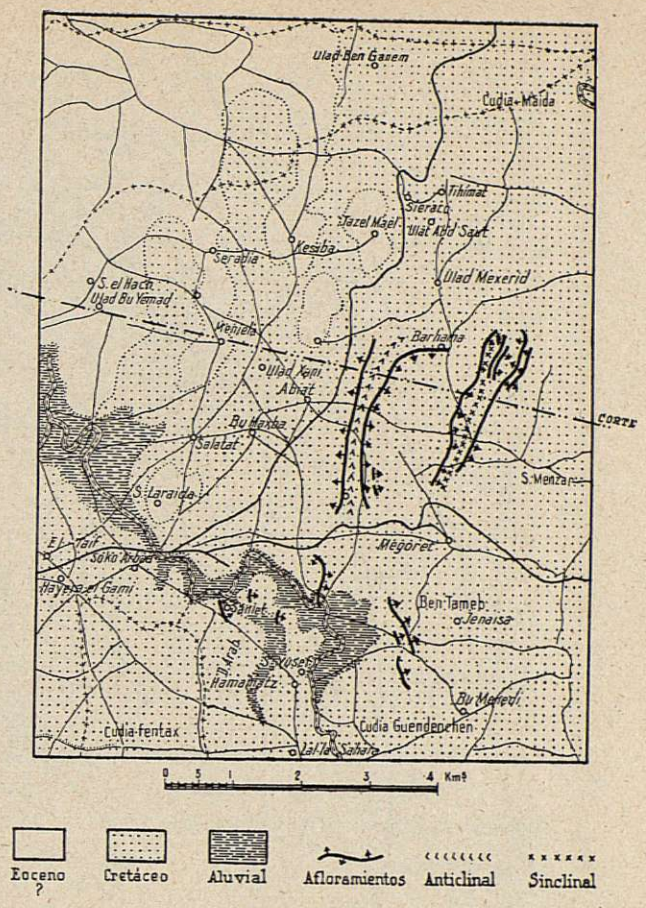
Estos campos han sido señalados en el plano general de la Zona Occidental del Protectorado, que se adjunta a este trabajo, con otros de menos importancia o no reconocidos hasta el momento.

CAMPO DE MEGARET

Situación geográfica.

Los estudios de margas bituminosas de este campo están situados en el límite occidental de la cabila de Beni-Arós.

La carretera que va desde el empalme con la de Tetuán-Larache a el Zoco de El Jemis, de Beni-Arós,



tiene su recorrido en dirección aproximada Este-Oeste, y divide este campo en dos partes independientes, que denominaremos Norte y Sur, respectivamente.

La parte Norte se encuentra limitada, al Oeste, por la carretera Tetuán-Larache; al Sur, por la de Beni-Arós, y al Norte y Este, por un paralelo y un meridiano que pasan, respectivamente, por debajo del poblado de Ulad-Mexerut y por la cumbre de Sidi-Menzor.

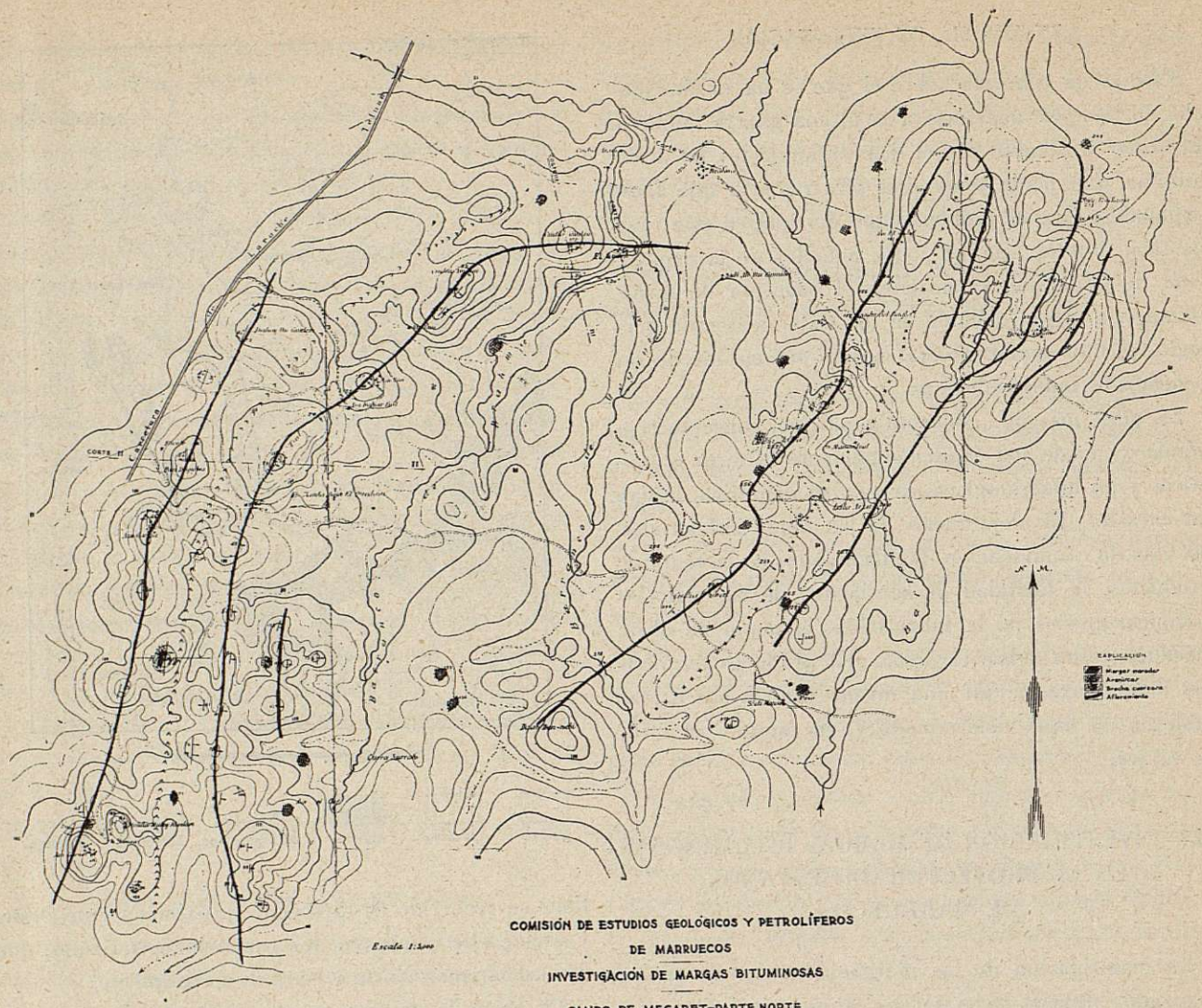
La parte Sur se extiende desde la carretera de Beni-Arós por todo el valle del río Aiaxa, formando las lomas que hay al Sur de la antigua posición militar de Megaret, y continúa hacia el Este. No está todavía determinado su límite por este lado; por el Sur llega hasta las proximidades del poblado de Hamamaz.

En todo el territorio hay poblados bastante grandes, como los de Ain-Garsul, Ain-Carma, Güiten, El Brahma, Dexar-Yamaa, Snied, etc.

Los habitantes se dedican a las labores agrícolas y ganaderas.

Las comunicaciones son buenas, por estar junto a las carreteras de Tetuán-Larache y Beni-Arós.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



El relieve del terreno es muy suave, y sólo destacan algunos cerros; esta formación se extiende por Poniente y Sur hasta el mar, y queda cortada a Norte y Levante por las sierras de arenisca que alcanzan cotas de 900 metros en Hait-el-Foki, y de 552 en el monte de Sidi-Arfun. Más al Este se ven las cumbres del Yebel-Alan.

La parte Norte del campo está surcada por una serie de barrancos que vierten en el río Jarrub. La parte Sur corresponde a la cuenca del Aiaxa.

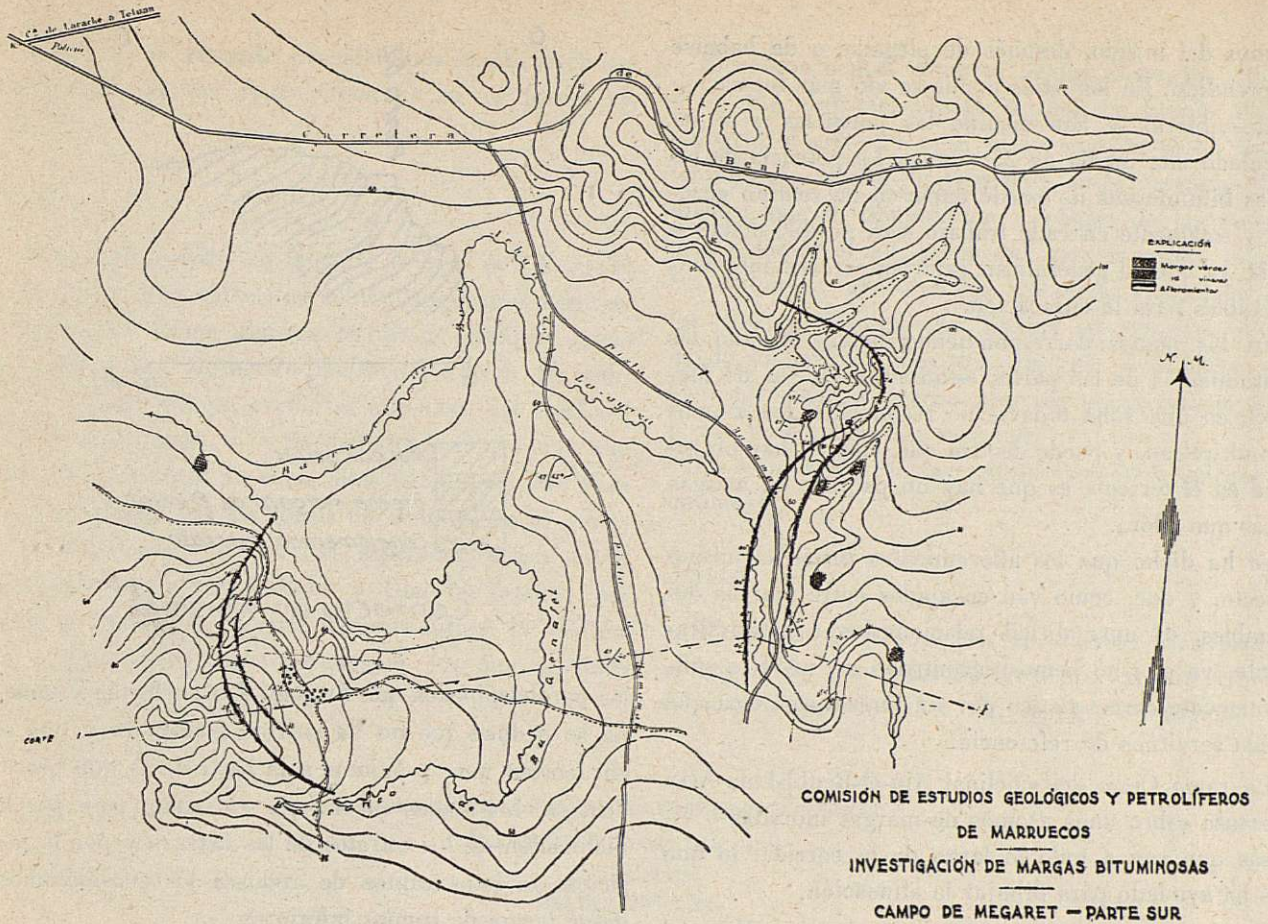
Descripción geológica.

La comarca donde se están realizando los estudios se halla en la faja de terrenos que se extiende al Oeste de los macizos de edad secundaria de la península marroquí.

En esta faja se distinguen dos zonas de distinta orografía y de diferente composición geológica; la zona montañosa, formada por sierras eocenas, con grandes masas de arenisca de aljibe, y la región de colinas, donde se presentan sedimento cretáceos, eocenos, miocenos y pliocenos.

Los depósitos de las distintas edades tienen gran parecido, y esto, unido a la extensión de los terrenos cultivados y el encontrarse los límites de las formaciones frecuentemente ocultas bajo mantos pliocenos y cuaternarios, hace difícil la clasificación de los distintos niveles geológicos que allí se presentan.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



Se ha recurrido al estudio de la microfauna, y por los foraminíferos encontrados hemos podido hacer las diferenciaciones que se indican en el plano.

Los terrenos, intensamente plegados, formados por materiales muy plásticos, presentan, si se los mira con mucho detalle, diferentes direcciones y buzamientos que desorientan bastante; pero si se los considera en conjunto, prescindiendo de los pequeños accidentes locales, se observa que, en toda esta Zona Atlántica, la dirección de plegamientos es casi Norte-Sur, y los buzamientos predominantes son siempre hacia el Este.

Tres son los terrenos que se encuentran en el campo de Megaret: cretáceo, eoceno y aluvial.

Cretáceo.

El cretáceo está representado por una formación de facies del Flysch con alternaciones de margas, de distinto aspecto y dureza, y de unas capas de arenisca que sirven de base al conjunto. Los relieves topográficos se suavizan y tienden hacia una formación de llanura, debido a las margas obscuras, deleznables, que dominan en extensión superficial a las otras margas, más duras, y a las areniscas, que no se presentan más que como asomos.

Estas margas, sumamente blandas, hacen imposible señalar dirección, y únicamente algunos niveles más pizarreños dejan ver sus lisos muy plegados.

En estas margas deleznables es donde vienen intercalados los niveles de margas bituminosas. Tienen todos el mismo aspecto; son duros, tableados, de colores que varían del amarillo al gris obscuro; toman tonos negruzcos y aspecto aterciopelado aquellas capas que llevan impregnaciones de aceites.

La potencia de estos paquetes de margas duras es muy variable y algo complicada de medir por las intercalaciones de margas blandas que hay entre sus lisos que, algunas veces, hacen que quede la duda de, si el conjunto de capas es un sólo paquete o son varios

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

asomos del mismo, después de plegarse o de haberse desprendido. En los sitios donde se vió más formación al descubierto se han medido las potencias y se ha calculado una media de 25 metros. La potencia de las capas bituminosas no puede darse en un sentido general, y solamente en cada trabajo será posible determinarla, ya que, al generalizar, saldrían errores muy considerables para la cubicación.

En los planos correspondientes hemos situado los afloramientos de las partes estudiadas. Al Sur de Megaret, en una zona todavía no reconocida, los asomos se multiplican, y puede decirse que, cuando hay un relieve en el terreno, es que hay un paquete de margas duras que aflora.

Se ha dicho que los afloramientos tienen el mismo aspecto, y que, como van encajados entre margas deleznables, es muy difícil relacionarlos estratigráficamente, ya que no hemos encontrado un nivel lo suficientemente característico por su dureza, etc., etc., que pueda servirnos de referencia.

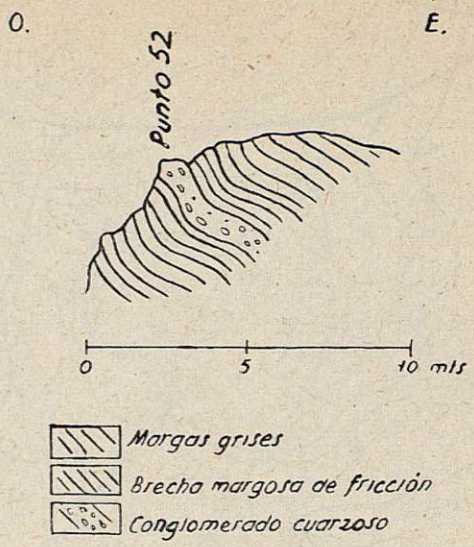
La rama Oeste del sinclinal Ain-el-Redid-Lala-Aixa descansa sobre unos asomos de margas moradas o vinosas que van a todo lo largo de la corrida, lo que nos ha ayudado para dibujar la alineación.

Estas margas vinosas aparecen, en la rama Este del anticlinal Brahma-Ain-Garsul, en las proximidades de Ain-el-Cat, encima de los paquetes de margas duras, y si en esta zona plegada las consideramos del mismo nivel que las del sinclinal antes mencionadas, tenemos que admitir la existencia de una falla. A esto es debido el que en la depresión que hay entre estas dos arrugas no aparezcan asomos de margas duras, pues están denudados.

Entre estas margas cretáceas hay asomos de areniscas que concuerdan con el eje del anticlinal. Son la base de la formación y van relacionadas con los asomos de conglomerados y cuarzosos que aparecen en el punto 86, al SE. de Ain-Garsul y en la cumbre del Ruisma, punto 52.

En el sinclinal asoman las areniscas debajo de las margas, en los puntos 135 y 136 al Oeste de Daab-den-Nebi, y junto al pozo de Sidi-Manzor.

Toda la suave ladera donde está el poblado de El Güiten está lleno de cantos sueltos de arenisca, son angulosos y tienen formas tableadas. Su tamaño oscila alrededor de 0,30 × 0,50 × 0,25 m., en los lados de

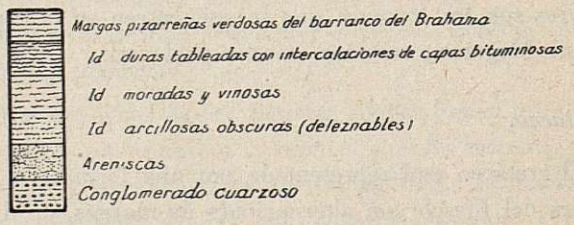


Contacto en Ruisma

los paralelepípedos que forman. Por su forma y tamaño se deduce que no ha sufrido transporte y que se encuentran muy próximos a la capa de la que proceden. No los hemos encontrado «in situ», pero por la inclinación de los estratos de las margas y por la posición de estos cantos de arenisca los consideramos, desde luego, de tramos inferiores.

Estos cantos de arenisca se encuentran, también, en los alrededores del poblado de Snied, y por su posición al Oeste del punto 31, parece que también aquí son de tramos inferiores.

La parte más alta de la formación cretácea está representada por las margas pizarreñas, verdosas, del barranco del Brahma, que forman el techo del paquete de margas bituminosas; su concordancia es perfecta; son de lechos muy delgados (0,04 m.), hojosas y se desmoronan fácilmente. Su posición se indica en el corte I.



Corte estratigráfico del Cretáceo

Corte núm. I

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Por todo lo expuesto consideramos la situación estratigráfica de las rocas cretáceas en la forma siguiente:

Eoceno.

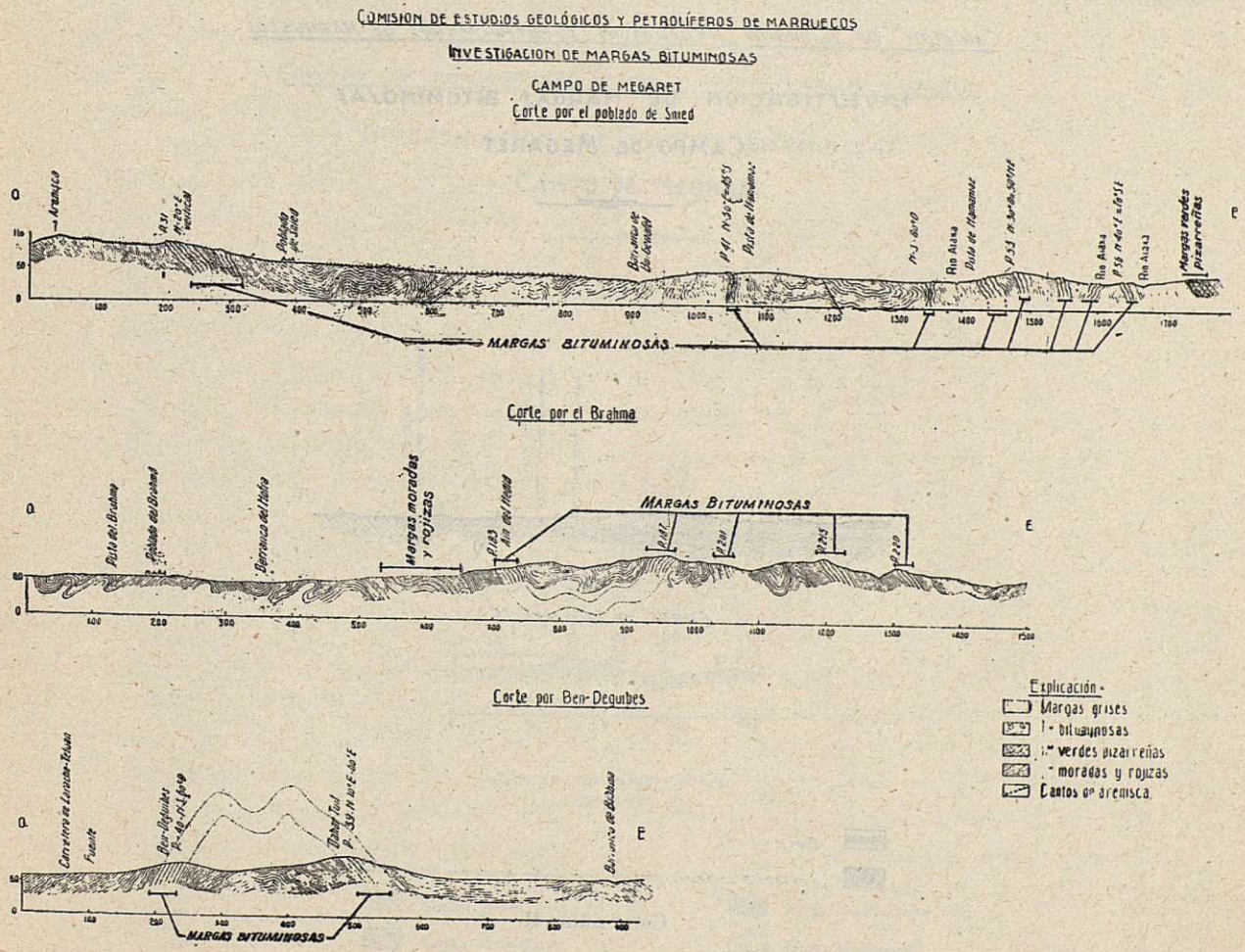
El eoceno aparece en la parte NO., y está formado por margas muy calizas de color blanquecino, bien estratificadas; tienen algunos lechos de arenisca intercalados, o sea, formando facies del Flysch. Su contacto con las margas arcillosas obscuras, del cretáceo, está bien marcado, y se ha delimitado la mancha que forman las colinas de cotas altas (153, 130, 94). Esta mancha encaja por las líneas de cumbres en el cretáceo subyacente, y forma tres espolones, donde están los poblados de Sidi-el-Hach y Ulad-bu-Yemaa; Seranta y Meniala, y Kesiba. De este último la erosión ha separado dos isleos eocenos en los que asientan Taz-el-Mat y El-Ma-el-Haid.

El eoceno ocupa, como ya hemos dicho, las alturas, y no está muy plegado. La erosión ha dejado al descubierto el cretáceo y su diferenciación se ha hecho, teniendo en cuenta los siguientes datos: estratigráficamente; por la composición mecánica de las margas, más deleznables las cretáceas; por el color, blancas las eocenas y obscuras las cretáceas, y también por los cultivos, que indican distinta composición química de los suelos, pues mientras que el cretáceo está todo cultivado, el eoceno presenta pocas labores y en él son más pobres las cosechas.

En el eoceno no se encuentran asomos de margas bituminosas.

Aluvial.

El aluvial se extiende por el valle del río Aiaxa, y está formado por capas de limos negros que dan excelentes tierras de labor. Su espesor es pequeño, no



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

llega a los 4 m., y en los sitios donde el río tiene su cauce actual afloran las margas cretáceas.

En el contacto de estas margas con la formación aluvial hay algunos manantiales de poca importancia, en cuanto a caudal, pero que no se agotan ni aun en los más duros estiajes; son aguas muy superficiales que proceden de la impregnación de las capas aluviales de acarreo.

El más conocido es el que está en el cauce del río Aiaxa, y del cual se surte el puesto de vigilancia de la entrada de Beni-Arós.

También hay manantiales en los contactos de las margas de distinta pureza, pues los paquetes de margas duras, aunque impermeables, están muy tableados, sirven de depósito y, al contacto con otras margas más compactas, salen a la superficie. Tal ocurre en Ain-Garsul, Ain-el-Cat, Ain-Tun, Ain-el-Hediol, Cudia Jofra, Ain-el-Far, Sidi-Manzor, o sea, que los manantiales y, por consiguiente, los poblados, jalonan las grandes alineaciones de los paquetes de margas duras en los que se encuentran las capas de margas bituminosas.

Afloramientos.

Como ya hemos dicho, la mayor dureza de las margas que forman los paquetes donde están las que contienen aceites, hacen que sobresalgan en el terreno y que formen los relieves más altos de la zona de llanura. Esto ayuda a situar y a reconocer los afloramientos. Los principales han sido situados topográficamente en los planos respectivos, y con sus direcciones y buzamientos, cuidadosamente tomados, se han hecho deducciones para llegar a la concordancia de capas y relacionar las estructuras.

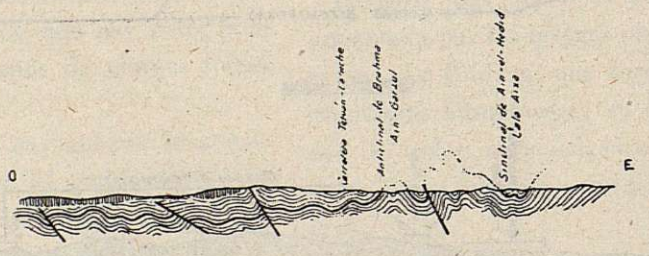
Parte Norte.

En esta parte, siguiendo de Oeste a Este, se presentan las siguientes estructuras:

COMISION DE ESTUDIOS GEOLOGICOS Y PETROLÍFEROS DE MARRUECOS

INVESTIGACIÓN DE MARGAS BITUMINOSAS

CAMPO DE MEGARET



CORTE DE LA PARTE N

Eoceno (?)

Cretaceo – Margas plegadas con niveles de margas bituminosas

Corte núm. II

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Anticlinal del Brahma-Ain-Garsul.—Este anticlinal, perfectamente reconocido, lo señalamos en el plano y en el corte II. Tiene dirección aproximada Sur-Norte, entre el poblado de Ain-Garsul y Dahar-Tuil; forma amplia curva, y, más allá de Cudia-Ain-Tun, lleva la dirección Oeste-Este; va curvando suavemente, y en el último trozo ha desaparecido la rama Norte después de pasar el Dahar-Bu-Guelem. Es, por lo tanto, en su mayor parte, paralelo a la carretera de Tetuán a Larache.

La rama Oeste está a unos 200 m. de la carretera, empieza al Sur en las laderas del monte donde está Ain-Garsul, sigue, hacia el Norte, por Ain-Carma, Ben-Deguibes y termina unos 300 m. al Norte del Dahar-Bu-Guelem.

Los afloramientos importantes corresponden al que hay en Ain-Garsul y en los puntos 63, 60, 46, 40, 31, 32 y 29. Estos afloramientos, con otros intercalados de menor importancia, marcan la dirección. Su buzamiento está comprendido entre los 40° y 60° al Oeste, aunque, debido a la plasticidad de las margas y a los empujes sufridos, haya alteraciones locales que hay que despreciar para el conjunto de la formación.

A una distancia de unos 350 m. aparecen los afloramientos de la rama Este del anticlinal; ésta toma mucha potencia al NE. de Ain-Garsul, llega a extenderse en unos 400 m., presentando una serie de asomos que tienen, todos, la misma dirección N.-S. y que buzan al Este. Estos asomos, que corresponden a los puntos 121, 122, 124, 126 y 128, están separados de la alineación principal, y, como no hemos encontrado sus continuaciones por el Norte, los consideramos desgajados del conjunto, a causa de algún movimiento.

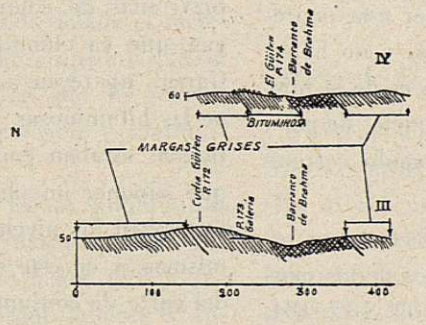
Los afloramientos de esta rama están en los puntos 98, 91, 99, 90, 93, 75, 76, 77, 111, 58, 55, 49, 47, 39, 36, 153, 161, 167, 168, 23, 172, 173 y 174, y terminan a unos 200 m. al Este del poblado de El-Güiten.

En los primeros puntos arriba indicados, el buzamiento al Este varía entre 35° y 70°, y, a medida que

COMISIÓN DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y PETROLÍFEROS DE MARRUECOS

INVESTIGACIÓN DE MARGAS BITUMINOSAS

CAMPO DE MEGARET



CORTES POR CUDIA GÜITEN (BRAHMA)

Margas grises
Margas bituminosas
Margas verdes, pizarreñas
Cantos de arenisca

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la dirección va curvando a Levante, los buzamientos acompañan al movimiento, inclinándose al Sur en los lisos que aparecen en El-Güiten (cortes III y IV).

Coincidentes con el eje del anticlinal están los afloramientos del punto 43, que confirman el pliegue al presentar su charnela y que indican que el eje tiende a exaltarse hacia el Norte.

En el punto 80, sobre el poblado de Ain-Garsul, también se observa el pliegue completo.

En el interior del anticlinal hay asomos muy trastornados, y en los puntos 52 y 86 se presentan capas de conglomerados brechoides de cuarzo que pudiera ser nivel de la base de estos terrenos. También hay en el interior asomos de areniscas.

Tanto a Poniente como a Levante de las ramas del anticlinal se extiende la formación de margas arcillosas obscuras deleznables que cubren la totalidad del suelo, si bien hay algunos asomos de margas pizarreñas, más duras, que toman distintos tonos de color, desde el verde claro hasta un morado rojizo. Estas últimas se encuentran concordantes y superpuestas, aparecen en el Ain-el-Cat, en los puntos 124 y 126, y en el 170, en el barranco del Brahma, y, sobre todo, muy claramente, en la ladera derecha del barranco al Sur de El-Güiten.

Sinclinal de Ain-el-Hedid = Lala-Aiaxa—El eje del sinclinal está situado unos 1.500 m. al Este del anticlinal antes descrito, y aunque no son paralelos, sus direcciones difieren poco; en el sinclinal varía 30° al Este. Entre los dos existe una depresión donde es muy raro encontrar afloramientos de margas duras tableadas, y que forma amplio valle por el que corren los barrancos de Brahma y Megayil. El tener esta depresión cotas más bajas que los alrededores, y no haber ningún contraste, indica que toda la roca es de la misma dureza y que, por lo tanto, no hay paquetes de margas duras, que, de existir, hubieran formado cerretes y crestones.

La rama Oeste del sinclinal está perfectamente representada y se sigue por los afloramientos de los puntos 278, 282, 262, 259, 256, 253, 243, 185, 186, 184, 183, 181 y 195. La dirección de las capas, en todos ellos, es, aproximadamente, N.-30°-E.; buzan unos 60° al SE. Al pasar el punto 195 las capas inflexionan, sin rotura, hacia el Este, y empalman con la otra rama del sinclinal.

La rama Este va, desde los alrededores del punto 261, por los 251, 248, 233; aquí sufre una dislocación y se divide en varias. Parece seguir por los puntos 223, 215 y 212; pero si se continúa por los 192, 194 y 184, se ve que las capas que forman aquéllas se curvan al Oeste y enlazan, como ya hemos dicho, con la otra rama.

En esta parte las capas afloran, dando cuatro alineaciones de difícil interpretación, pues, aunque sus direcciones generales siguen siendo paralelas, forman, estudiándolas en detalle, múltiples pliegues y torceduras muy agudas que, acompañadas de fuertes cambios de buzamiento, embarullan las estructuras. Es necesario, como repetidamente hemos dicho, observar las direcciones generales, y de ese modo hemos dibujado el corte V.

Las cuatro alineaciones que forman la rama de Levante curvan hacia el Oeste y, al empalmar con la rama opuesta, marcan claramente la exaltación del eje hacia el Norte, formando fondo de barco.

Vemos que los ejes del anticlinal y sinclinal se elevan hacia el Norte, lo cual indica que toda la formación tiende a levantarse en esa dirección y que hay tendencia de esta formación cretácea a bascular hacia el mar; accidente que coincide con la estructura general de esta Zona Atlántica. Debido a esta exaltación no se encuentran más al Norte paquetes de margas bituminosas, porque la erosión no ha dejado más que las margas arcillosas del nivel inferior.

Superponiéndose a la rama Oeste y concordante con su estratificación, hay una serie de asomos de margas pizarreñas de colores verdoso a morado. Estas margas, que ya citamos en el anticlinal de Brahma-Ain-Garsul, aparecen aquí debajo del paquete que contiene las bituminosas y lo rodean por el Norte; en el anticlinal estaban encima. Si fueran las mismas habría que suponer un pliegue-falla con deslizamiento o que se repiten los niveles. Nos inclinamos a suponerlas las mismas, y en este sentido está hecha la interpretación del corte de conjunto.

A Levante del sinclinal, en un pozo que hay 20 m. al Este de Sidi-Mansor, afloran unas areniscas iguales a las que en el anticlinal de Ain-Garsul colocamos en la base de las margas, y que aquí también están debajo del paquete.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Parte Sur.

Al Sur de la carretera de Beni-Arós se han relacionado los afloramientos en la forma que se indica en el plano. Las dos alineaciones están separadas por el valle aluvial del río Aiaxa, en el centro del cual no han quedado más que unos retazos (puntos 41 y 47), que forman el poco relieve del valle.

El afloramiento de Snied forma la cumbre del cerro en el que está construído el poblado. Consta de dos paquetes de margas duras y separadas por otro de margas deleznables, todos concordantes. La dirección va variando desde N.-20°-E., en el punto 22, a N.-30°-O., en el 31, y a N.-50°-O., en el 38. Los buzamientos son todos a Levante. La potencia, incluídos los dos paquetes, es de 45 m. En estos paquetes hay algunas capas bituminosas que, en la superficie, tienen buen aspecto. Sus lechos son de 0,30 m. En el paquete de margas duras resaltan por su color los lechos bituminosos.

La corrida del río Aiaxa es más complicada, pues aunque se la sigue claramente en su parte Norte, después de curvar hacia Poniente se divide en dos ramas que, al llegar al río, se presentan tan intensamente plegadas que no hemos podido interpretar su posición. Nos limitamos, pues, a dar un corte del conjunto.

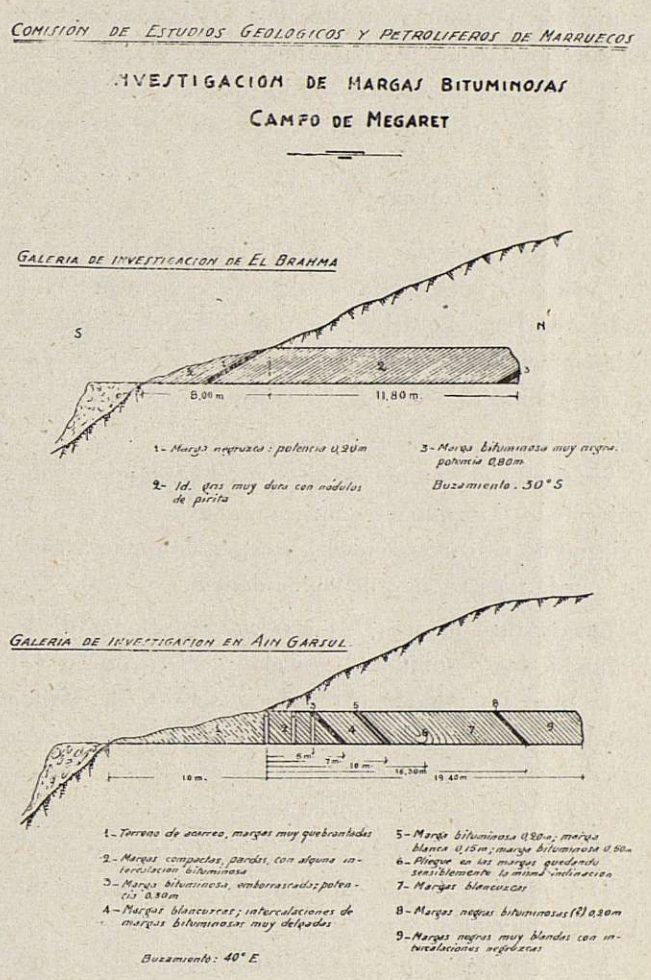
Más al Este de esta última alineación aparecen los asomos de Bu-Mehedi, no estudiados en esta campaña. Cuando estén reconocidos tal vez podremos sacar consecuencias acerca de los empujes sufridos en esta parte.

Trabajos realizados.

A medida que se estudiaba con más detalle el terreno se iban descubriendo nuevos afloramientos que, si alguna vez complican las estructuras, por lo general dan nuevos datos sobre la correspondencia y continuidad de las formaciones.

Para reconocer la existencia de lechos bituminosos ha sido necesario ejecutar pocillos y desmontes que sirvieran para descarnar las superficies meteorizadas que enmascaran los lechos. Se han realizado labores en todos los puntos que están numerados en el plano y en algunos intermedios. Una vez realizada esta primera labor y recorridas todas las alineaciones procedió situar labores de reconocimiento por medio de galerías.

Por presentar más constancia en la dirección, por tener potencia mayor (alrededor de 50 m.) y por ser de más fácil ataque, se situaron dos galerías: una junto a la fuente del poblado de Ain-Garsul, y otra, en el barranco del poblado de El-Güiten (Brahma). En ambas se habían localizado lechos bituminosos en los afloramientos.



Galería de El-Brahma.

Por Cudia Güiten pasa la rama Este del anticlinal Ain-Garsul-Brahma, y el barranco del Brahma deja, allí, al descubierto todas las capas. La dirección en los puntos 172 (cumbre del monte) y 173 (margen del barranco) es E.-O.; buza 30° al Sur; por lo tanto, si se emboquillaba en el punto 173 una galería horizontal de reconocimiento que llevara dirección S.-N., se cortaría todo el paquete, y como a medida que se avanzara el recubrimiento sería mayor las capas bituminosas, conservarían más riqueza.

En el croquis se indican las capas cortadas: una ne-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

gruzca, de 0,20 m. de potencia; luego, capas delgadas de marga gris, muy dura, con nódulos de pirita, y un lecho de marga bituminosa, muy negra, de 0,80 metros de potencia. La muestra tomada tiene un recubrimiento de unos 12 m.

Las capas puestas al descubierto presentan pocos plegamientos y grandes regularidad y constancia, tanto en dirección como en buzamiento; datos que confirman las capas de margas verdes que forman el techo del paquete y que asoman al otro lado del barranco.

Galería de Ain-Garsul.

Para reconocer la rama Oeste del anticlinal se situó una galería en las proximidades de la fuente, en la ladera de Poniente del cerro en que está el poblado de Ain-Garsul. La galería tiene dirección SO.-NE., y corta normalmente a la estratificación de las margas de este asomo.

Siguiendo el croquis se observa el plegamiento que sufre todo el paquete y, aunque a un lado y otro del pliegue no se corresponden las capas de manera exacta, puede notarse algo de concordancia.

Las margas blancas (4) con intercalaciones de lechitos de las bituminosas se corresponden con las (7), y la capa bituminosa (3) pudiera ser la (8); faltan detalles que corresponden a las capas (5), pero éstos pueden estar enmascarados por los empujes en las capas (7).

El pliegue, muy corto, es el clásico «pliegue en rodilla», que únicamente soportan sin romperse los materiales muy plásticos.

En esta galería se pone al descubierto lo que repetidamente hemos dicho respecto a estas formaciones y deslizamientos en todas direcciones, lo que hace que, frecuentemente, se tomen como varias capas lo que, en realidad, no es más que una. Esto tiene gran importancia en lo que a una cubicación se refiere, pues los errores al determinar el tonelaje serían tremendos.

Nuevas labores.

Los afloramientos se siguen al Sur de Megaret; hay bastantes en los alrededores de Bu-Mehdi, pero parece que no pasan más allá de Cudia Menzora; siguen las margas de las mismas formación por debajo de la antigua posición militar de Cudia Marax, y hemos señalado afloramientos en la ladera Este del Monte Aitun, en los poblados de Megaslien y Sidi-Lage.

Cubicación.

En el estado actual de los trabajos de reconocimiento es difícil dar una cubicación de este campo, principalmente en lo que respecta a la potencia de las capas impregnadas, pues, aunque se conocen el espesor y corrida de los paquetes de margas duras, queda la incógnita de la continuidad; en las labores ya realizadas tiene espesores de varios centímetros, pero que, según ocurre en otras regiones ya explotadas, puede ir aumentando en profundidad, por ser mayor el recubrimiento y aparecer impregnadas capas que ahora, en superficie, consideramos estériles.

Si tomamos 0,50 m. como potencia media de las capas impregnadas y admitimos la densidad de 1,80, podremos hacer la siguiente cubicación:

Parte Norte.

Las cuatro ramas determinadas del anticlinal y sinclinal tienen corrida total de unos 11.000 m.

Suponiendo que las capas continuarán en profundidad con características, si no mejores, por lo menos iguales, en unos 200 m. medidos según la máxima pendiente de la capa, resulta:

$$11.000 \times 200 \times 0{,}50 = 1.100.000 \text{ m}^3$$

que, con densidad de 1,8, da 1.980.000 toneladas.

Parte Sur.

La longitud de los afloramientos es de 1.750 m., la profundidad y el espesor los consideramos como en la parte Norte:

$$1.750 \times 200 \times 0{,}50 = 175.000$$

que hacen 315.000 toneladas.

Se cubica, pues, un total de:

$$1.980.000 + 315.000 = 2.295.000 \text{ toneladas}$$

CONCLUSIONES

1.ª Hemos atribuído al senonense, o sea, a un piso del cretáceo superior, las margas bituminosas.

2.ª No existe continuidad de capas entre las dos partes, Norte y Sur, del campo núm. 2 (Megaret).

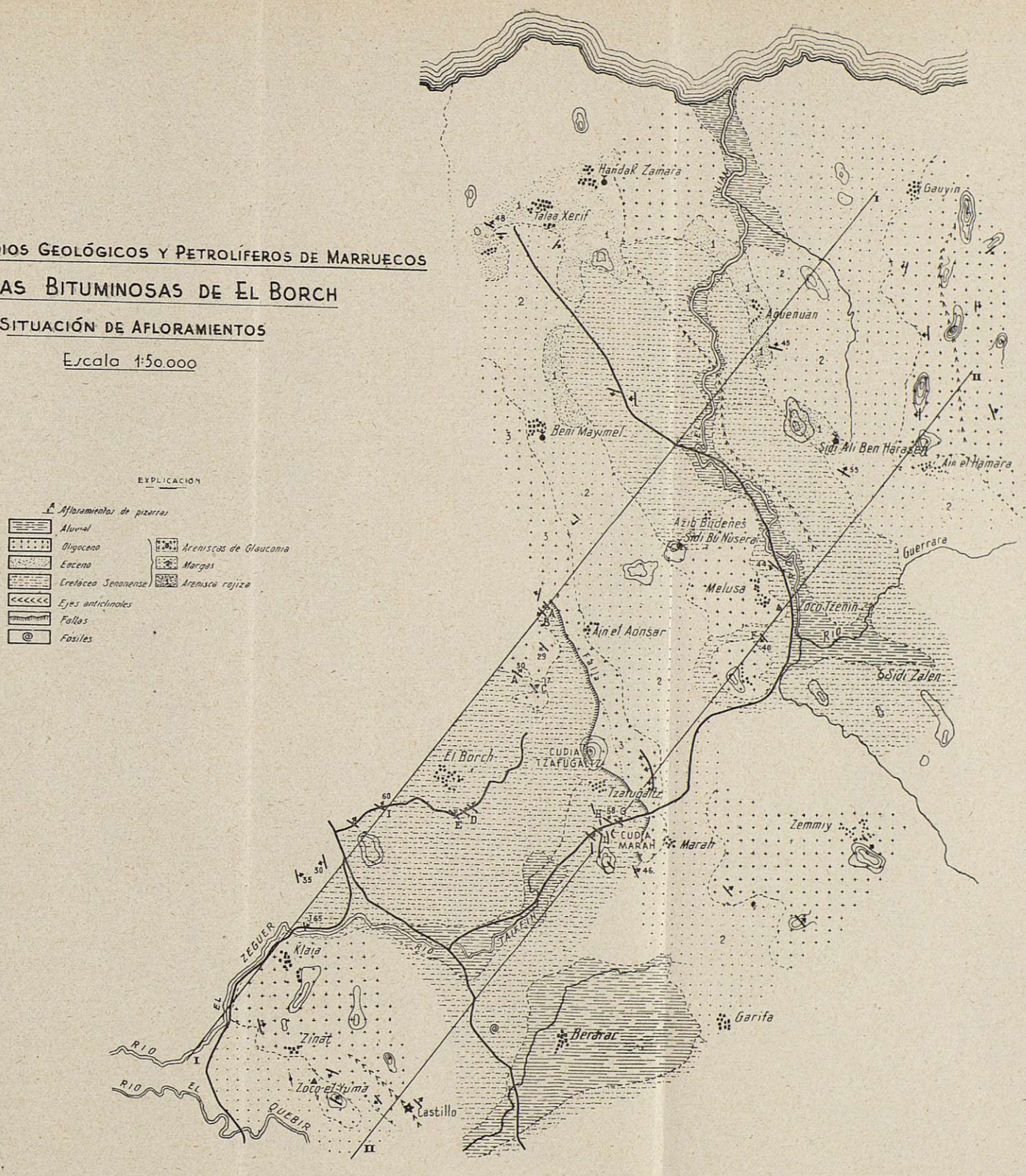
FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

COMISIÓN DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y PETROLÍFEROS DE MARRUECOS

PIZARRAS BITUMINOSAS DE EL BORCH

SITUACIÓN DE AFLORAMIENTOS

Escala 1:50.000



FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

3.ª Se han cubicado 2.295.000 toneladas de margas con impregnaciones.

4.ª Si existieran otras capas en profundidad, el tonelaje aumentaría.

5.ª Los análisis de las muestras tomadas en las galerías de reconocimiento denotan baja ley de aceites. Esto puede ser debido a que las muestras estaban todavía algo superficiales.

6.ª Debe proseguirse la prospección minera en profundidad y empezarse en los otros campos conocidos.

CAMPO DE MELUSA

Situación y límites de la zona estudiada.

Se halla el campo que hemos llamado de Melusa, en la región fronteriza del Protectorado Español con la zona de Tánger. La frontera es límite político natural del mismo.

Al Norte termina en la porción de costa que va desde Punta Altares a Punta Ferdigua, y por el Este y Sur las sierras arenosas de los montes Tzatzuja, Cudia Rauda, Dardara, Zem-Zan, etc., constituyen un límite geológico natural, ya que el cretáceo, donde se hallan las margas bituminosas, está recubierto por fuertes espesores de terrenos terciarios, que eliminan toda posibilidad de investigación y de explotación del yacimiento, que, sin duda, continuará bajo estos recubrimientos para reaparecer donde aquéllos falten, como se evidencia en el hecho de haber afloramientos de pizarras en el río Buceja, precisamente en el puente de la carretera de Tetuán a Tánger.

Características geográficas del campo.

Puede decirse que la región que hemos reconocido, y en la que se hallan los afloramientos que hemos hallado y señalado en nuestro mapa, es una zona comprendida entre la llanada que constituye el campo internacional del Fahs y el primer accidente orográfico formado por las sierras que forman el puerto del Fondak de Aín-Yedida.

Solamente la serreta que forma la frontera del Protectorado Español, en la que se asientan los poblados de Beni-Mesaud y Beni-el-Meyimel, merece destacarse como relieve de alguna importancia. Existen, aparte de ello, multitud de cerros aislados, como el bordeado por los poblados de Azib-Budenes, Melusa y Zoco Tzenin, las Cudias Tzafugaltz y Marah, y el que sirve de asiento al poblado R'Gaia, que destacan de la suavidad del relieve general.

Constituyen algunos de estos cerros las divisorias entre las cuencas que vierten sus aguas a las costas septentrional y occidental de la región marroquí, es decir, a lo que aún se llama estrecho de Gibraltar, y a las que deben considerarse costas atlánticas.

Dos cursos de agua principales atraviesan la región estudiada: el llamado el Liam y el Taiffim, que desembocan en el Estrecho y en el Océano, respectivamente.

Es de notar que, a pesar del reducido caudal y de lo limitado de la cuenca de estos dos ríos, su cauce presenta las características de los divagantes, lo cual obedece a la debilidad de los terrenos por los que corren, que denudan con gran facilidad en una orilla, a la que depositan limos en la opuesta. Lo mismo podemos decir que actúan las aguas de lluvia, contra las que sólo se defienden las alturas que hemos reseñado anteriormente, coronadas todas por areniscas que ofrecen mayor resistencia al desgaste producido por los agentes exteriores.

Otro hecho digno de señalar, es que estas areniscas no sólo resisten al agua de lluvia, sino que, cargándose de ella, la almacenan y devuelven al exterior en multitud de manantiales situados en su contacto con las margas impermeables subyacentes. Se han levantado la mayoría de los poblados en la proximidad de estas fuentes.

Estudios geológicos.

Expondremos unidos el estudio tectónico y el estratigráfico, para la mejor comprensión de los cuales adjuntamos el mapa tomado de las hojas en escalas 1 : 50.000 y los cortes a la misma escala, aparte las figuras que incluiremos en el texto.

Debemos hacerlo así, pues no son independientes el aspecto tectónico y el estratigráfico, ya que, para deducir consecuencias definitivas y fundar hipótesis que expliquen el primero, es necesario que el conocimiento del segundo sea completo y que no ofrezca duda ninguna.

No podemos decir que hayamos llegado al conocimiento exacto y absoluto de estos problemas, y nos limitaremos a dar las consecuencias primeras logradas

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

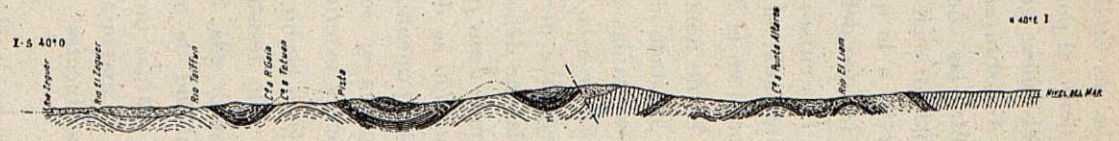
COMISIÓN DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y PETROLÍFEROS DE MARRUECOS

PIZARRAS BITUMINOSAS DE EL BORCH

CORTES GEOLÓGICOS

Escala horizontal y vertical 1:50.000

EXPLICACIÓN



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

hasta ahora, dejando para más adelante la resolución definitiva de las cuestiones planteadas.

Se encuentra el criadero en la serie llamada compresiva de entre las en que se considera dividido el conjunto litológico que cubre Marruecos.

El carácter principal de esta serie es la flexibilidad y poca dureza de la mayoría de sus sedimentos, como hemos hecho notar al tratar de la descripción geográfica del conjunto y, por ello, es frecuente ver notables extensiones de terreno en las que, sólo en los barrancos, quedan al descubierto formaciones de margas, y en las que en muchísmos casos, por ocultarlo los mismos derrubios, no pueden verse la dirección y el buzamiento de aquéllas.

En estas condiciones, no es raro que algún accidente tectónico, siempre importante, sea un pliegue, o una falla, puedan pasar inadvertido, motivando algún error en la columna estratigráfica que vaya deduciéndose de las observaciones.

No es preciso decir que, para el estudio de la tectónica general, hay que prescindir de la posición de aquellos estratos que aparecen en posición anormal en reducida extensión, pues se hallan así, en algunos casos, por desprendimientos de bloques que no afectan al conjunto, o por reacciones locales que tampoco pueden hacer variar el concepto de lo general.

No somos los primeros en haber hallado esta clase de dificultades, pues en los trabajos de los geólogos que han dedicado su atención al suelo marroquí, Marín entre los españoles, y Fallot, Lacoste y otros, entre los franceses, destaca siempre la dificultad de llegar a conclusiones definitivas en el conocimiento estratigráfico de las comarcas reconocidas, y se consignan como aportaciones valiosísimas para el estudio general, observaciones y cortes locales que puedan servir de utilísima información en estudios posteriores.

Los terrenos que cubren la superficie estudiada son el cretáceo, eoceno, oligoceno y aluvial.

En Marruecos considera Lacoste dividido el cretáceo en dos tramos, que son:

1.º Eocretáceo, en el que pueden bien determinarse por sus fósiles los tramos del Valanginense al Albense.

2.º Neocretáceo, cuya base es el Vraconiense, pertenecientes al cretáceo superior, y el resto del cretáceo, cuyos tramos sólo pueden fijarse por su microfauna, cuyo valor, como indico, estratigráficamente ha sido en un principio muy discutido.

En este aspecto se ha llegado, sin embargo, a conclusiones interesantísimas, y ha podido demostrarse, por ejemplo, el carácter de fósiles característicos que tienen hoy las especies *Linnei* y *Stuarti* del género Rosalina.

Por ello, después de nuestros primeros reconocimientos, hemos decidido emprender la profundización de pocillos, para toma de muestras, en aquellas zonas donde nuestras primeras observaciones nos han hecho suponer la existencia de una línea de contacto.

En los trabajos de nuestros antecesores se dice que han sido hallados Inoceramnus en la región de Tánger. Nosotros no los hemos recogido todavía; en cambio, hemos hallado en un cerro situado a 350 mts. al N. de la carretera de Tánger a Tetuán, cuyas coordenadas en la hoja pudieran ser h, 79,5; v, 130,2, una fauna que nos ha proporcionado los siguientes ejemplares:

Alectryonia Nicaissei, Coq. *Alectryonia Acauthonota*, Coq. *Nucula*, sp. *Arca*, sp. *Venus*, sp. que no nos indican la edad maestrichtiense de los sedimentos.

El conjunto cretáceo presenta una característica que es importante señalar, y es la uniformidad de dirección de todas sus capas orientadas de NO. a SE., y con buzamientos cambiantes.

Es decir, que se halla formando una serie regular de pliegues suaves que aparecen en nuestro corte, constituyendo el conjunto una parte de las virgaciones externas y concéntricas del arco del Rif, observadas en todo el Marruecos español y francés.

Esta tectónica sencilla, la continuidad y sucesión de pliegues, y uniformidad de las capas del sistema, permiten relacionar bien el yacimiento explotado en la zona internacional con el explorado por nosotros, que es prolongación de aquél.

Hemos hallado una falla, también representada en nuestros cortes, cuya dirección es semejante a la de los pliegues principales.

En cuanto a la estratigrafía del cretáceo, de momento, creemos que de muro a techo es como sigue:

1. Conjunto de margas negras con plegamientos de poco desarrollo y estratificación difícil de observar.
2. Horizonte de marga con fucoides.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

3. Margas rojas de color de vino y de aspecto parecido a las del trías.

4. Paquetes de 4 capas bituminosas, de potencias próximas a los 2 m. por exceso o por defecto, separadas por margas de distintos tonos.

5. Margo-caliza blanca o caliza, que se fracciona en trozos, que aparecen desgastados por la erosión.

6. Horizonte de margas rojas.

7. Calizas de color de herrumbre, arenosas, con puntos brillantes de mica.

8. Paquete de dos capas bituminosas de débil potencia.

9. Margas grises de tono más claro.

La formación cretácea continuará quizá hacia el techo.

Debajo de los paquetes descritos van las capas reconocidas y eventualmente explotadas en la zona internacional.

En calidad de horizontes-guía, en relación con las capas, tenemos las margas rojas, las cuales se repiten en casi todos los terrenos de Marruecos, pues aparte de hallarse en el trías, en el que son verdaderamente típicas, se han encontrado en varios tramos del Jurásico, del Cretáceo inferior y superior, del Eoceno, del Oligoceno y del Mioceno.

Es decir, que iguales o parecidas rocas, quizá del trías, han proporcionado los mismos materiales de sedimentación, a lo largo de épocas geológicas, desde el Jura hasta el Cuaternario.

Según Lacoste, las facies rojas y yesosas del cretáceo preceden inmediatamente al depósito de areniscas de glauconia del Eoceno transgresivo.

En nuestro concepto aún podría intercalarse un horizonte margoso de tonos verdosos que coronase la formación cretácea.

Sobre el cretáceo, el primer horizonte detrítico que hallamos son las areniscas cortadas por la pista de Punta Altares, casi al llegar a la costa.

Son areniscas rojizas, a las que, después de un paquete de margas, sigue un horizonte fuerte de arenisca que creemos que, sin duda, es la que Fallot llama de glauconia, y que sitúa en los horizontes más bajos del Eoceno.

No hemos hallado ningún conglomerado, cual se encuentra en el Fondak, como horizonte base del Eoceno.

En la zona internacional se encuentra el Eoceno con Nummulites, que aparecen en sus tramos, medios y superior, por lo que creemos que pueden faltar en la región los primeros tramos de este terreno terciario.

En el paralelismo de horizontes establecido por Fallot y Doncieux, la arenisca que ellos llaman de glauconia queda por muro de la arenisca del Cabo Malabata.

Sobre el Eoceno y transgresivo encontramos el horizonte llamado «Arenisca del Aljibe», de la base del Oligoceno.

Sentadas estas hipótesis, y apoyándose en ellas, deducimos inmediatamente el plan, del que una parte está en vías de ejecución.

PLAN PARA LOS RECONOCIMIENTOS

Lo primero es comprobar la exactitud de las líneas de contacto de nuestro mapa, y, a falta de macrofósiles que determinen cada tramo, hemos de recurrir a los foraminíferos que puedan hallarse en las margas, para lo cual hacemos una serie de pocillos, en alineaciones normales a las supuestas líneas de contacto.

El análisis y estudio de la microfauna recogida en esos pocillos nos dará la edad del terreno en que han sido perforados y con ellos fijaremos más precisa la línea de separación de los distintos tramos geológicos o haremos observaciones que puedan conducirnos a una interpretación distinta.

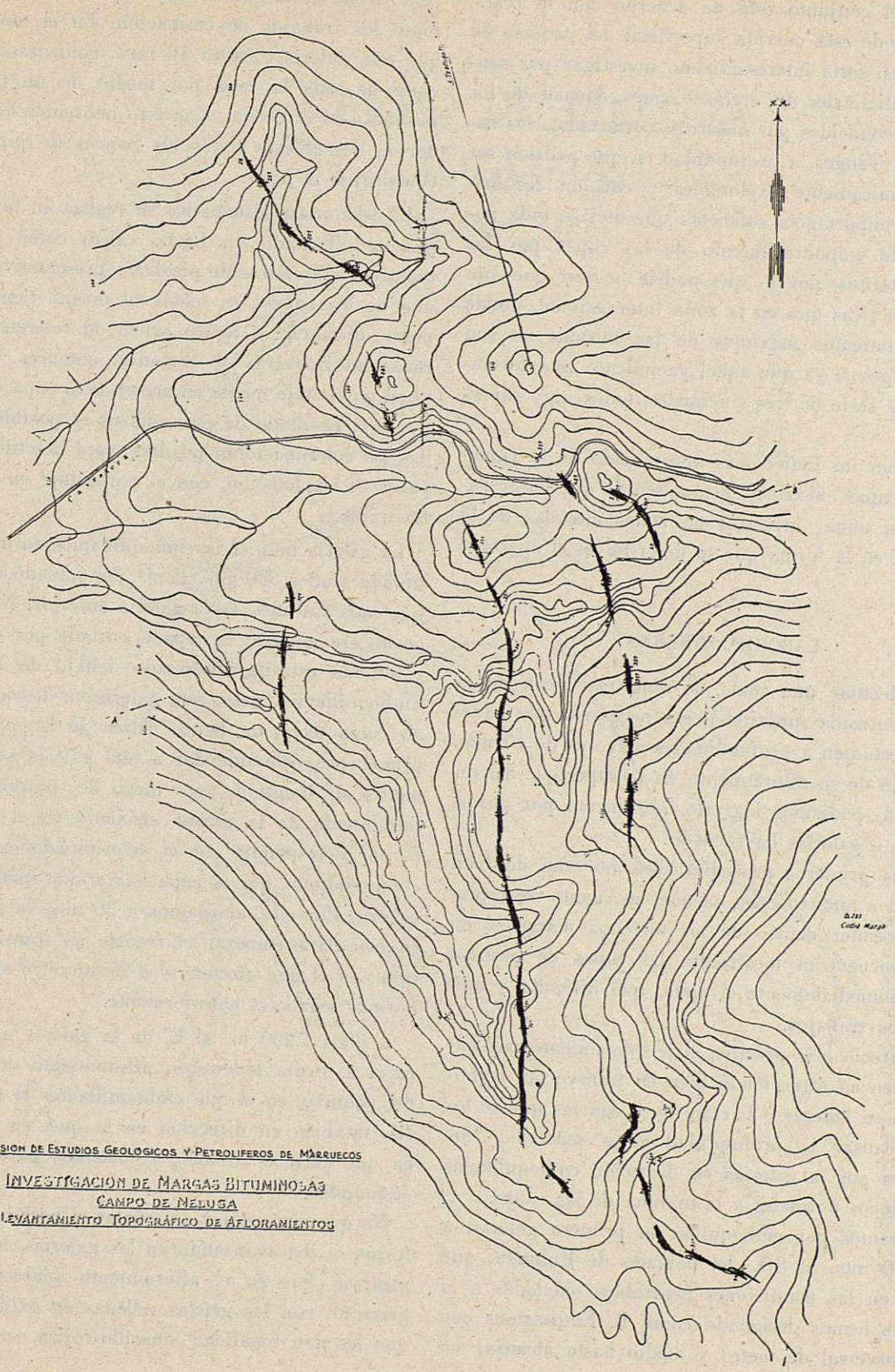
La vista de nuestros cortes y de las fotografías que adjuntamos puede notarse que el paquete de pizarras de mayor potencia, con el que podría contarse para una explotación industrial, presenta multitud de afloramientos en la zona comprendida entre el poblado de Tzafugaltz y Cudia Marah.

En el plano levantado por nosotros hemos situado todos los afloramientos vistos, que unimos con líneas que representan la corrida de las capas.

Creemos que los hallados en la pista de El Borch, al pie del fortín, pertenecen también a este mismo paquete, pero no hemos encontrado afloramientos de Tzafugaltz hacia el Norte, quizá porque el Eoceno cubre al cretáceo en esta zona.

Es importante aclarar este extremo y medir, si existe, la potencia del recubrimiento, pues, si éste es débil, la corrida aprovechable sería de más de 2 kms. de larga y cubicaría tonelaje importante.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



COMISION DE ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y PETROLIFEROS DE MARRUECOS

INVESTIGACION DE MARGAS BITUMINOSAS
CAMPO DE MELUGA
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE AFLORAMIENTOS

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Además, si la interpretación que hemos dado a la geología del conjunto está de acuerdo con la realidad, aparte de esta corrida superficial del paquete de cuatro capas, sería interesantísimo investigar por sondeos los anticlinales del cretáceo, pues, además de los paquetes reconocidos por nosotros, cortaríamos los explotados en Tánger, a profundidad en que podrían ser aún económicamente explotables y con un recubrimiento de importancia suficiente que alejase toda posibilidad de empobrecimiento de las capas por los agentes externos, por lo que podría ocurrir que aún fueran más ricas que en la zona internacional, donde los recubrimientos máximos de las mismas no son de gran espesor, ya que aquel yacimiento está formado por una serie de tres sinclinales, todos muy superficiales.

Para tener un índice más aproximado de la riqueza de las capas existentes, hemos tenido que hacer galerías para tomar muestras en zonas alejadas de la superficie, en la forma que se describe en el apartado siguiente:

LABORES MINERAS

Para efectuar una toma de muestras fuera de la zona meteorizada superficial, era necesario que aquéllas se efectuasen a profundidades mayores de 10 mts. por debajo de su afloramiento en la superficie del terreno. Esto podíamos lograrlo únicamente por pozos, trancadas o galerías en socavón.

Los dos primeros procedimientos no eran de fácil aplicación a nuestro caso, ya que, en cuanto se empieza a descender dentro de los terrenos margosos en que se encuentran localizadas las capas de pizarra, aparece inmediatamente el agua, que dificulta y aún impide los trabajos.

Nos pareció más práctico el reconocimiento por galerías, bien en dirección o bien en transversal, emboquilladas en laderas o barrancos, y con las que se lograse alcanzar la profundidad antes señalada. Nos decidimos por la galerías en dirección emboquilladas en barrancos normales a la marcha de las capas.

Empezamos por emboquillar la primera galería, a unos 500 mts. al SO. del poblado de Ruhman, que cortaba en las condiciones favorables señaladas a la capa que hemos designado como B. Empezamos con una transversal de metro y medio hasta alcanzar un banco calizo de 0,30 mts. de espesor que tomamos como techo de la galería, con objeto de reducir al mínimo los trabajos de entibación. En el momento en que esta galería alcanzó 16 mts., comenzamos un recorte de toda la capa por medio de un transversal normal a su dirección. Con esto habremos logrado poner al descubierto todos los bancos de pizarras que constituyen el nivel.

El desmuestre sistemático se realiza en la forma siguiente: Tomado un banco calizo como referencia, tomaremos muestras de pizarra representativas de cada uno de los bancos se señala al mismo tiempo su espesor, distancia al banco calizo de referencia. Analizadas las muestras se obtendrá, entonces, por cálculo, el porcentaje medio en aceite de la capa de pizarra. Sobre el resultado de este análisis es posible hacer todas las combinaciones posibles para determinar el espesor de explotación, con el porcentaje en aceite más favorable.

La galería núm. 2 la emboquillamos en un barranco situado a unos 580 mts. al SO. del poblado de Ruhman y a unos 250 mts. de la galería anterior. Nuestro propósito era analizar la capa C cortada por el barranco y situada estratigráficamente debajo de la anterior. Emboquillamos, pues, esta galería en dirección tomando como techo un banco calizo de la capa. Nuestro primer propósito fué dar a esta galería solamente 30 metros de longitud, pero luego de comprobar que el buzamiento de la misma señalado en el afloramiento no correspondía con el determinado en la galería, comprendimos que la capa había sido quebrada en su cabeza. Por ello, alargamos a 30 mts. la longitud necesaria para empezar el recorte en transversal de la capa, en el que afectamos el desmuestre siguiendo las normas señaladas anteriormente.

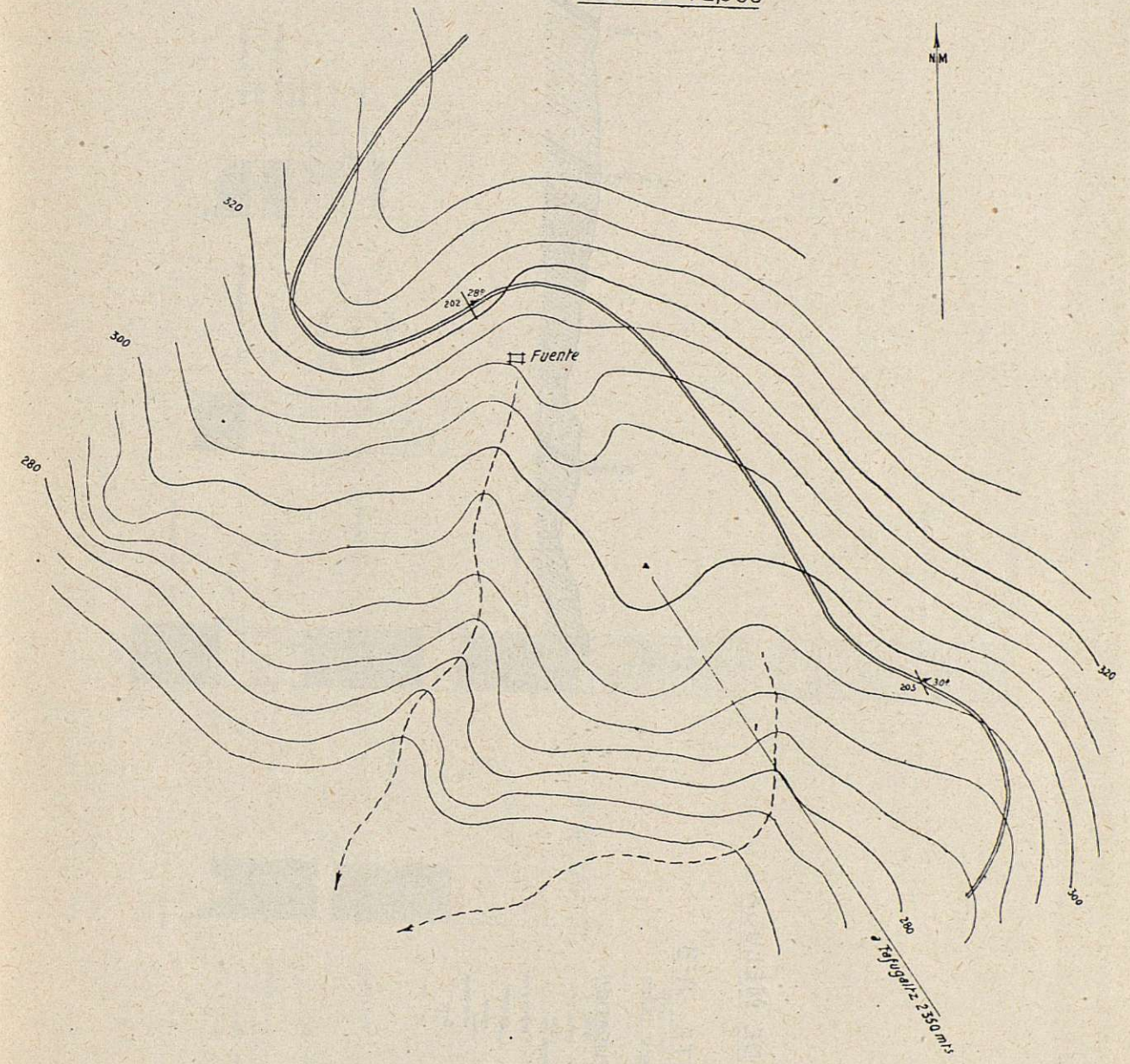
A unos 1.200 m. al E. de la galería anterior aparecía a media ladera un afloramiento de la capa A del paquete, en el que emboquillamos la tercera galería, también en dirección en la que, en el momento en que alcance 20 mts., recortamos para efectuar el desmuestre.

No queremos dejar de señalar el hecho de que, conforme se iba avanzando en las galerías, los bancos de pizarras, que en el afloramiento aparecían de color grisáceo, con las grietas rellenas de óxidos de hierro que les dan tonalidad amarillo-rojiza, se iban obscu-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAMPO DE MELUSA
(EL ARBOL)

Escala 1:2,500



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAMPO DE MELUSA

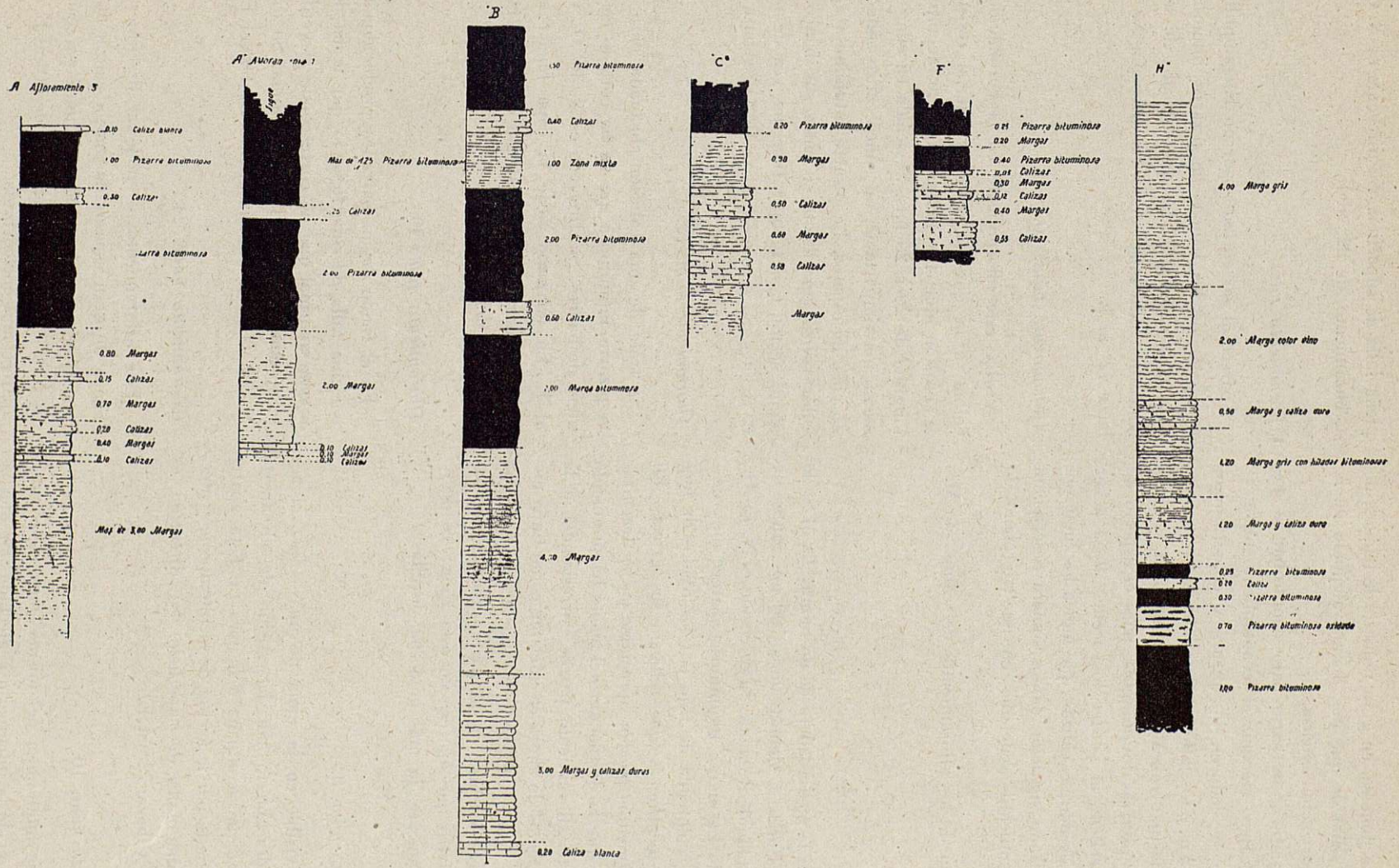
CORTE A-B

Escala 1:2.500

EXPLICACIÓN

- Negruzco gris
- Amarillo y ocre
- Rojo oscuro
- Morado
- Verde oscuro
- Verde
- Color vino

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

reciendo hasta ponerse, en gran número de bancos, de color negro, señal de que nos íbamos alejando de la zona de meteorización intensa.

Ha sido también necesario para comprobar la corrida de las capas efectuar el levantamiento topográfico, del que se deducen los planes y el corte que adjuntamos. En estos afloramientos ha sido preciso, a menudo, efectuar calicatas para comprobar la existencia de las pizarras bituminosas, pues el aspecto de éstas en superficie, al perder los aceites, llega a ser semejante al de margas calizas, que nunca los tuvieron.

En el apartado siguiente damos somera descripción de los afloramientos señalados en nuestro plano de detalle.

Descripción de los afloramientos del campo de Melusa:

Afloramiento núm. 2.

Aparece en la media ladera de un montecillo al S. de la pista del Borch a Melusa, unos 700 mts. antes de llegar al poblado de Ruhman. Su dirección es N. 45° O., y buza 37° E. La marga bituminosa aparece muy descompuesta y coloreada de rojo por los óxidos de hierro que la recubren y que rellenan sus grietas. En algunos fragmentos pueden apreciarse en las fracturas las aureolas que la destilación del aceite ha producido en ellas. Este afloramiento parece corresponder a la que designaremos de ahora en adelante como Capa número 1. La hemos designado así por tratarse de una capa que se encuentra en la parte superior del paquete de cuatro que aparece en esta zona; es decir, estratigráficamente, la más moderna de ellas.

Afloramiento núm. 8.

Aparece visible en la cima de una colina al ser puesto al descubierto por la erosión de un fuerte banco calizo que acompaña a la pizarra. Ésta aparece descompuesta por la acción de la intemperie y afectada por una falla de superficie. Su dirección es N. 63° O., y buza 72° al E.

Afloramiento núm. 10.

La marga bituminosa del mismo, muy meteorizada por la acción de la intemperie y afectada por una pequeña falla de superficie. Su dirección es N. 63° O., y su buzamiento, de 22° al E.

Afloramiento núm. 3.

Aparece al ser cortados por un barranquillo la mayor parte de los bancos de pizarra bituminosa que forman la capa, entre los que se acaba de señalar un banco de caliza muy sólido. Su dirección N. 45° O., y buza 42° al E.

Afloramiento núm. 16.

Visible este afloramiento en la coronación de una colina, a la que ha dado origen, al resistir mejor la erosión que las margas que lo acompañan, en longitud de 20 a 25 mts. Se señala en ella, como elemento más importante, un banco calizo sólido de unos 25 cms. de espesor. La pizarra bituminosa aparece de color rojizo amarillento, y entre sus bancos aparece algún sector con textura fina, tal vez de mayor ley de aceites. Su dirección es N. 41° O., y buza 30° al E.

Afloramiento núm. 17.

Se trata de una calicata efectuada para encontrar la pizarra bituminosa que se ha cortado en gran número de bancos. Su dirección es N. 36° O., y buza 28° al E. En conjunto tiene la capa buena apariencia. Parece tratarse de una calicata efectuada en la Capa número 2 del paquete.

Afloramiento núm. 20.

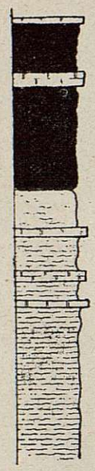
En el fondo de un barranco producido, al parecer, por una falla de superficie, lo que le ha dado buzamiento anormal que no corresponde al verdadero que se apreciaría en una labor profunda. Su dirección es N. 24° O., con un buzamiento de 80° al E.

Afloramiento núm. 24.

Este afloramiento se pone al descubierto por un banco de gran espesor de marga caliza situada en el muro de capa de pizarra bituminosa. Su dirección es N. 25° O., y su buzamiento de 20° al E. La pizarra aparece muy meteorizada.

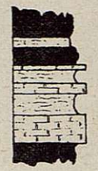
FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Capa A Afloramiento N:



Capa B

Capa F



Capa H

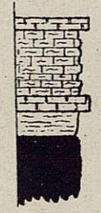
Afloramiento 3

Afloramiento 10

Afloramiento 16

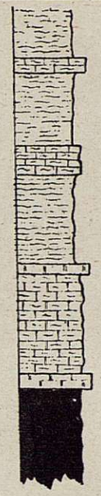
Afloramiento 20

Afloramiento 24

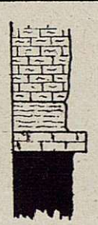


Afloramiento 34

Afloramiento 39



Afloramiento 42

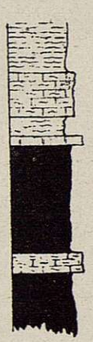


Afloramiento 46

Afloramiento 47

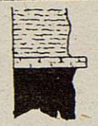
Afloramiento 51

Afloramiento 69

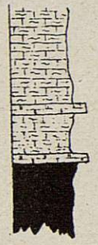


Afloramiento 70

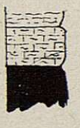
Afloramiento 77



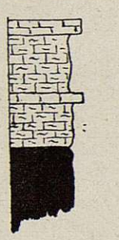
Afloramiento 78



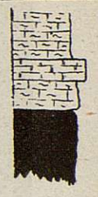
Afloramiento 87



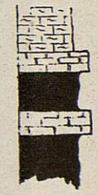
Afloramiento 92



Afloramiento 98

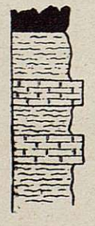


Afloramiento 202



Capa A Afloramiento S.

Capa C



Afloramiento 2

Afloramiento 17

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

Afloramiento núm. 26.

En un barranco formado por un riachuelo que corta a la capa. Su dirección es N. 31° O., y buza 25° al E. Este barranco parece ser una falla que debe cortar la formación desplazando las capas unos cuantos metros. Su dirección es N. 31° O., y su buzamiento 25° al E.

Afloramiento núm. 28.

En este afloramiento ha puesto al descubierto la erosión algunos pequeños afloramientos de pizarra bituminosa, muy meteorizada. Su dirección es N. 31° O., y su buzamiento, aunque es al E., no es posible determinarlo.

Afloramiento núm. 34.

Se trata de un afloramiento de la Capa núm. 3 del paquete. Su buzamiento es 25° al E., y su dirección es N. 40° O. La pizarra aparece acompañada de un fuerte banco calizo, con margas calizas muy duras en el techo del mismo.

Afloramiento núm. 39.

Se trata de otro afloramiento de la misma capa anterior. Su dirección es de N. 50° O., y su buzamiento es de 55° al E.

Afloramiento núm. 40.

Esta capa es puesta al descubierto en un barranco y aparece en cada una de las márgenes con más de 10 mts. de altura. Tiene en parte un buzamiento más tendido de lo que es en realidad. Su dirección es N. 50° O., y su buzamiento es de 46° al E.

Afloramiento núm. 42.

Se trata de otro afloramiento situado, al parecer también, en la misma Capa núm. 3. Su dirección es N. 27° O., y su buzamiento de 60° al E.

Afloramiento núm. 46.

Situado en la Capa núm. 1, cerca del barranco en el que se encuentra la Capa núm. 3, en el afloramiento núm. 40. Su dirección es N. 45° O., y su buzamiento de 70° al E.

Afloramiento núm. 47.

Se trata de unos cuantos bancos de pizarra puestos al descubierto por la erosión, en los que no es posible determinar el buzamiento. Indica el paso de la capa y su posible dirección, que es, al parecer, N. 37° O., y el buzamiento parece ser que es al E.

Afloramiento núm. 49.

Es un reducido asomo de pizarras que parece pertenecer a la capa núm. 2. Su dirección es N. 30° O., y buza al E.

Afloramiento núm. 51.

Se trata de un fuerte asomo de pizarras que aparece en la cima de una loma. La pizarra, muy meteorizada, y color rojo amarillento. Su dirección es N. 20° E., y su buzamiento de 35° al E.

Afloramiento núm. 52.

Pequeño afloramiento situado a unos 10 mts. al S. del anterior, y que tiene dirección N. 20° O., y buza 35° al E.

Afloramiento núm. 54.

Se trata, al parecer, de un afloramiento situado en la corrida del anterior. La pizarra aparece en algunos bancos que no es posible reseñar completamente. Su dirección es N. 10° O., y su buzamiento de 20° al E.

Afloramiento núm. 55.

En la cima de un montecillo de cota 198. Su dirección general es N.-S. El banco calizo está muy atormentado. Su dirección, unos metros más allá, es N. 21° O., y su buzamiento de 20° al E.

Afloramiento núm. 56.

Otro afloramiento situado en la misma capa del anterior a media ladera del montecillo. Su dirección es N. 11° O., y su buzamiento de 25° al E.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Afloramiento núm. 50.

Debe estar situado este afloramiento en la Capa número 2 o en la Capa núm. 3. Su dirección es N. 25° O., y su buzamiento de 26° al E.

Afloramiento núm. 60.

En el mismo barranco del afloramiento núm. 40. Es un fuerte asomo de pizarra que queda enmascarada a distancia por haberse formado en las caras del mismo expuesta al viento dominante un musgo color blanco. Su dirección es N. 55° O., y buza 55° al E. Ésta es la Capa núm. 4 del paquete.

Afloramiento núm. 61.

En la margen de un arroyo aparecen la caliza y la margen de la Capa anterior, núm. 4. Su dirección es N. 21° O., y su buzamiento al E.

Afloramiento núm. 64.

En una calicata efectuada en la otra margen del barranco, en que aparece el núm. 60. Su dirección es N. 22° O., y su buzamiento es de 50° al E. Se ha cortado la pizarra bituminosa en un espesor superior a 1,40 mts., dentro del cual cabe señalar un banco de pizarra de 35 cms. de espesor.

Afloramiento núm. 65.

Entre los afloramientos 60 y 61, en medio de un campo de labor. Las capas de pizarras bituminosas, muy meteorizadas por el cultivo. Su dirección es N. 34° O., y buza al E.

Afloramiento núm. 68.

Pequeño afloramiento en lo alto de un montecillo, donde se destaca el fuerte banco calizo que acompaña a la capa. Su dirección es N. 18° O., y su buzamiento, 30° al E.

Afloramiento núm. 69.

En una calicata que ha cortado a la capa de pizarra bituminosa. Su dirección es N. 25° O., y su buzamiento, de 30° al E. La pizarra aparece a unos 2 mts. de la superficie, pero muy meteorizada. La descomposición de los bancos no es por igual. Algunos, de colores muy obscuros al lado de otros grises recubiertos en las grietas por los óxidos rojo-amarillento de hierro.

Afloramiento núm. 70.

Aparece la pizarra en medio de un campo de labor con configuración análoga a la del afloramiento número 60. Se trata, al parecer, de la Capa núm. 4. Su dirección, N. 60° O., y su buzamiento, 40° al O. Éste, como se ve, es inverso al de los restantes del paquete, de modo que puede formar, con los de las otras capas, un anticlinal. Podría ser también solamente un cambio de buzamiento de la capa con carácter local.

Afloramiento núm. 75.

Afloramiento de la Capa núm. 2 en un barranquillo en el que aparecen la pizarra bituminosa, la marga caliza y la marga de la Capa núm. 4. Su dirección, N. 30° O., y el buzamiento, 25° al O. Éste, por tanto, también contrario.

Afloramiento núm. 71.

Entre los afloramientos núms. 68 y 50 (estación), en el lomo de un cerrillo. Su dirección, N. 22° O., y su buzamiento, 25° al E.

Afloramiento núm. 76.

Es afloramiento de la Capa núm. 1 que desde la cota 198 se dirige hacia el SO. Su dirección, N. 20° E., y el buzamiento, indeterminado, es al E.

Afloramiento núm. 77.

Aparece en él un banco de pizarra bituminosa acompañado de otro de caliza y otro de marga. Su dirección es N. 4° O., y su buzamiento, de 35° al E.

Afloramiento núm. 74.

Se trata, al parecer, de la corrida de la Capa número 1. Su dirección es N. 11° O., y su buzamiento, de 35° al E.

Afloramiento núm. 78.

Forma una corrida de capa visible en más de 40 mts. de longitud que baja desde lo alto de la colina hacia

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

el fondo de un barranco. Su dirección es N. 5° O., y su buzamiento, de 70° al E.

Afloramiento núm. 79.

Continuación de la capa del afloramiento anterior que se estrella contra la otra margen del barranco, en el que aflora para meterse debajo de unos campos de labor, en los que no es posible seguir la capa. Su dirección es N. 5° E., y su buzamiento es al E.

Afloramiento núm. 87.

Aparece la pizarra debajo de un olivo en la margen de un barranco. Su dirección es N. 40° O., y su buzamiento, 50° al O.

Afloramiento núm. 89.

En la otra margen del barranco anterior; es capa de pizarra bituminosa muy descompuesta. Su dirección, N. 45° O., y su buzamiento, de 56° al N.

Afloramiento núm. 86.

Capa de pizarra bituminosa que ha puesto al descubierto en lo alto de una colina el espesor de una capa de pizarra bituminosa. Su dirección es N.-S., y su buzamiento, de 36° al O. Se trata, al parecer, de un afloramiento situado en la capa del afloramiento número 90.

Afloramiento núm. 90.

En un barranquillo aparece una capa bituminosa cortada por el mismo. Parece tratarse de un arrastre de una capa. Su dirección es N. 35° O., y su buzamiento de 70° al O.

Afloramiento núm. 91.

Igual al anterior, y va hasta el afloramiento siguiente. Su dirección es N.-S., y su buzamiento es de 40° al E.

Afloramiento núm. 92.

Potente banco de pizarra bituminosa. Su dirección es N.-S., y su buzamiento es de 42° al E.

Afloramiento núm. 94.

Corrida de la misma capa del afloramiento núm. 92. Dirección, N. 30° O., y buzamiento, 34° al E.

Afloramiento núm. 95.

Continuación del afloramiento anterior que parece que gira hacia el Este. Dirección, N. 80° O., y buzamiento, de 30° al E.

Afloramiento núm. 96.

A media ladera, en el que se ha puesto al descubierto la pizarra bituminosa que aparece ligeramente arrastrada en su cabeza. Su dirección es N. 22° O., y su buzamiento es indeterminable.

Afloramiento núm. 98.

La capa sigue cambiando de dirección dirigiéndose hacia el E. francamente. Su dirección es N. 85° O., y su buzamiento, de 35° al NE. Aparece a media ladera en unos 25 mts. de corrida, pero luego se pierde debajo del barranco por internarse, al parecer, debajo del Eoceno de Cudia Horreira.

Afloramiento núm. 202.

Corresponde al levantamiento de la Zona del Árbol. Corresponde a la Capa A, ya reseñada. N. 46° O., y buza 28° al O.

Afloramiento núm. 203.

Corresponde a la capa B, ya reseñada también. Su dirección es N. 45° O., y su buzamiento, de 30° al SO.

CUBICACIONES

Sólo pueden ser provisionales mientras no termine el estudio geológico completo del yacimiento, y reconocidas las potencias explotables de capa, que se deducirán de los análisis de las mismas, pero suponiendo potencia de un metro a cada una de ellas, con corrida vista de 750 mts., y 20 mts. de macizo, nos darán 60.000 tons. en la zona reconocida al S. de Tzafugaltz.

Si el yacimiento fuera continuo hasta la pista de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El Borch, las reservas se acercarían a las 500.000 toneladas.

En cuanto al valle del río El Liam y zona de la pista de Punta Altares, los reconocimientos y los sondeos podrían poner de manifiesto importante reserva, que no es prudente fijar sin conocer los resultados de las investigaciones futuras que, si confirman nuestras hipótesis, demostrarán la existencia de un yacimiento cuyas reservas se contarían por millones de toneladas.

CONCLUSIONES

1.ª El yacimiento de pizarras bituminosas de Tánger continúa en la zona del Protectorado con capas a la vista.

2.ª La riqueza de las capas es muy elevada. Tiene leyes del orden del 2 al 4 % de aceites y 5 % de carbono fijo.

3.ª Conviene reconocer, con pocillos y detenidos reconocimientos geológicos y, en su caso, topográficos, todas las zonas próximas a los afloramientos vistos para relacionar bien unos con otros, hallar otros nuevos y fijar la importancia y posición de las diferente corridas de capas.

4.ª Las conclusiones deducidas de este estudio nos conducen a proponer sondeos, de profundidades de hasta 200 mts., que aparezcan como más aconsejables, para delimitar el yacimiento y calcular sus reservas.

5.ª Creemos conveniente el reconocimiento geológico de las comarcas oriental y meridional de la que nos ocupa, con intento de relacionar este yacimiento con los afloramientos del río Buceja y con el campo de Beni-Arós.

CAMPO DEL ARBA-DEL-AIAXA

Labores mineras en la zona del Arba-del-Aiaxa.

Durante la perforación de esta galería hemos podido observar lo muy plegadas que se encuentran estas margas y los trastornos locales que presentan, tales como fallas, acuñamientos, esterilidades, etc. Como se observa en el corte de la galería, que se adjunta, los pliegues son isoclinales con buzamiento siempre al E.

La inclinación de los lechos era de 30 a 40° al comienzo de la galería, pero al final presentan inclinación de 60 a 70°, lo cual es lógico, puesto que el principio de la galería se encuentra en zonas de arrastres y, por tanto, las capas están algo volcadas, mientras que al final creemos se encuentran «in situ».

Si tomamos como punto de origen el topográfico número 79, tendremos los siguientes paquetes a partir de él:

De 0 a 5 mts.—Trinchera de la galería, margas blanquecinas muy meteorizadas, teñidas de óxido de hierro con algunos lechos de marga bituminosa muy descompuesta.

De 5 a 10 mts.—Las mismas margas blancas, si bien algo más calizas y, por tanto, más duras, algún lecho de marga bituminosa de 1 a 3 cms. de potencia.

De 10 a 10,40 mts.—Lecho de 0,30 mts. de potencia de marga bituminosa, emborrascada.

De 10,40 a 12 mts.—Margas blancas, teñidas en las superficies de contacto y crucero por óxidos de hierro y de manganeso.

De 12 a 13 mts.—Capa de margas bituminosas con una intercalación de 0,15 mts. de marga blanca. La potencia total es de 0,90 mts. que se descomponen en 0,25 mts. de marga bituminosa, 0,15 de marga blanca estéril y 0,50 de marga bituminosa.

De 13 a 21,30 mts.—Margas blancas con algún lecho bituminoso entre los 13 y 15 mts. A los 15 mts., vértice de un pliegue isoclinal muy bien marcado.

De 21,30 a 21,55 mts.—Lecho de margas bituminosas de 0,20 mts. de potencia. Estas margas están muy descompuestas y son muy arcillosas.

De 21,55 a 26 mts.—Margas blancas, muy arcillosas, blandas, con algunas intercalaciones de margas arcillosas obscuras.

De 26 a 26,25 mts.—Marga dura, bituminosa, potencia 21 cms. Se ha efectuado el análisis de una muestra de este lecho, muestra núm. 1, y ha dado 8,8 % de materias volátiles, correspondientes a un contenido de 4,09 % de aceites.

De 26 a 26,43 mts.—Margas grises blancas, estériles, de 0,15 mts. de potencia.

De 26,43 a 27,30 mts.—Marga bituminosa, negra, compacta. El análisis de una muestra de este lecho (muestra núm. 2) ha dado un contenido de 3,7 % de materias volátiles que equivaldrá aproximadamente a un contenido de 1,5 a 2 % de aceites.

De 27,30 a 28,10 mts.—Aparece un núcleo de margas

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

blancas descompuestas a modo de un módulo estéril entre las margas bituminosas. También pudiera ser la charnela de un pliegue, pero en ese caso debía haber un trastorno mayor que el que se presenta en las capas, las cuales están sin ninguna rotura.

De 28,10 a 28,80 mts.—Marga bituminosa, compacta, de 0,60 mts. de potencia. El análisis de una muestra de este lecho, ha dado 3,5 % de materias volátiles.

De 28,80 a 28,89 mts.—Lecho de 6 cms. de potencia de marga estéril.

De 28,89 a 29,10 mts.—Lecho de marga bituminosa de 0,18 mts. de potencia. El análisis de una muestra (núm. 4) ha dado 3,50 % de materias volátiles.

De 29,10 a 29,60 mts.—Lecho de margas bituminosas, compactas de 0,32 mts. de potencia. El análisis de una muestra núm. 5 ha dado 3,95 % de materias volátiles.

De 29,60 a 33,30 mts.—Margas blancas y grises estériles.

Asimismo se ha efectuado la perforación de una galería en el punto topográfico núm. 175 correspondiente al pie del cerro del Guiten, próximo al poblado del Brahma.

Esta galería tiene dirección casi al N. para cortar normalmente y por el muro los paquetes de margas, pues es en esta zona donde las capas curvan al E. La inclinación de las margas es de unos 30° y su buzamiento al S.

Esta galería tiene 8 mts. de trinchera, a causa de lo tendidas que están estas capas. La longitud de la galería propiamente dicha es de 20,80 mts. Toda ella está constituída por margas calizas grisáceas, compactas, muy duras.

A los 11,80 mts. de profundidad se ha cortado una capa de margas bituminosas de 0,60 mts. de potencia. El análisis de una muestra ha dado 4 % de materias volátiles. A continuación de esta capa todas las demás que se han cortado son margas muy calizas, a veces, blancas y otras, teñidas de óxido de hierro y de manganeso. Debido a la excesiva dureza de este terreno, a las filtraciones de agua y al ligero recubrimiento que las oculta, se decidió suspender la perforación de esta galería para hacer otra investigación en lugar más conveniente.

A causa de las especiales condiciones topográficas de la región, en la que el terreno presenta sólo pequeñas elevaciones y colinas de suave pendiente, es difícil el ubicar galerías de reconocimiento en condiciones de que los paquetes cortados tengan el suficiente recubrimiento que garantice el que las capas de margas se encuentren fuera ya de la zona de meteorización. Dada la gran dificultad que esto presenta, se ha tomado la solución de hacer calicatas a modo de trincheras de 1 a 1,50 mts. de profundidad que corten normalmente a los paquetes de margas. De esta manera se reconocen mejor los lechos bituminosos y eligiendo un paquete que en la superficie reúna condiciones de riqueza y potencia aceptables, se puede abrir una trancada para reconocer este paquete a cierta profundidad en zona no afectada por los agentes atmosféricos.

Hasta la fecha se han efectuado unas 20 ó 25 calicatas. De las más importantes damos a continuación un resumen de los paquetes cortados.

Calicata P. 248

Esta calicata se encuentra próxima al lugar santo de Lal-la-Aiaxa, al lado del barranco del Hofra. Existe un buen corte producido por la denudación que origina este arroyo.

Cortando de E. a O. tenemos:

1) 1.20 mts. de potencia de margas blancas y grises, calizas, muy duras.

2) 0.15 mts. de margas bituminosas, compactas. Esta capa ha dado 7,4 % de materias volátiles equivalentes a 3.05 % de aceites.

3) 0,30 mts. de margas blancas, teñidas de óxido de hierro.

4) 1.50 mts. de margas pardas descompuestas, en lechos delgados de 2 a 10 cms. con mayor abundancia de los lechos más duros.

5) 0,3 mts. de margas bituminosas.

6) 1,00 m. de margas grisáceas, calizas, duras con alguna intercalación, en lechos delgados de margas bituminosas.

7) 0,15 mts. de marga bituminosa. Su análisis ha dado un contenido de 4,3 % de materias volátiles.

8) 0,65 mts. de marga bituminosa con algunas intercalaciones de estéril. Su análisis ha dado un contenido de 6,2 % de materias volátiles.

9) 3,5 a 4 mts. de margas blancas, arcillosas, intercaladas en lechos de margas calizas muy duras.

Al observar los análisis y disposición de los diferen-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tes lechos de margas de esta calicata se advierte que los lechos de esta calicata que hemos numerado 5), 6), 7) y 8) constituyen un paquete de 2,10 mts. de potencia de margas bituminosas más o menos emborrascadas. En el techo de este paquete se encuentra otro de 1,50 mts. de potencia de unas margas muy descompuestas que, a su vez, sirven de apoyo a una capa bituminosa bastante rica. En resumen, existe un paquete de más de 3,50 mts. de potencia en el que se observa, en ciertas zonas, meteorización. Nos cabe la duda de si, al descender por debajo de la zona afectada por los agentes atmosféricos, presentarán estas margas mayor riqueza, tal como ocurre en algunas minas en las que se ha observado enriquecimiento con la profundidad.

Calicata P. 228

En el paquete de capas que afloran al E. del poblado de Yemáa. Creemos que la capa que a que aflora es la misma que la que se ha cortado con la calicata anterior. Sin embargo, no nos ha sido posible identificar los lechos, lo cual nos demuestra lo que decíamos antes acerca de la influencia que ejercen los agentes atmosféricos sobre la estructura y composición de estas margas, que, en este caso, hacemos extensivas, no sólo a la profundidad, sino también a un transformación lateral debida a la diferente meteorización a lo largo de la misma capa.

Los lechos cortados son:

1) 3,00 mts. de potencia. Marga obscura, blanda, muy descompuesta en lechos muy finos, de 1 a 3 cms.

2) 0,60 mts. de potencia. Marga blanca, caliza, compacta.

3) 1,00 mts. de potencia. Marga bituminosa de buen aspecto. Se han tomado muestras, pero no se ha hecho todavía el análisis.

4) 6,00 mts. de potencia. Margas blancas con intercalaciones de margas obscuras teñidas de óxidos de manganeso y de hierro. Algún extracto bituminoso de escaso espesor.

Calicata P. 223

Situada al lado del camino que va del poblado del Yemáa al del Brahma. Se trata de una capa paralela a la que han cortado las dos calicatas anteriores. En ella se observa un lecho de margas bituminosas cuyos análisis ha dado un 5,5 % de materias volátiles. Los diferentes lechos se ordenan como sigue:

1) 2,50 mts. de potencia. Margas arcillosas, pardas, blandas, muy descompuestas.

2) 0,50 mts. de potencia. Margas blancas compactas.

3) 1,00 m. de potencia. Margas bituminosas con algunas intercalaciones de lechos estériles de margas grises compactas.

4) 2,50 mts. de potencia. Margas blancas, arcillosas, blandas.

Calicata P. 187

Esta calicata se encuentra situada en un cerrete al N. de la labor P. 223.

Debido a la fuerte meteorización no se han podido fijar con detalle la disposición y estructura de los diferentes lechos.

Calicata P. 184

Análogamente al anterior en este punto se hizo una extensa calicata de 10 mts. de longitud por 1 m. de anchura y de profundidad variable entre 0,50 y 1,50 metros. Se observaron algunos lechos muy meteorizados de margas bituminosas, apoyadas en margas arcillosas blancuzcas. El buzamiento general se conserva al E.

Calicatas P. 185/186

En las proximidades de estos puntos se han hecho cuatro calicatas en la disposición que presenta el croquis que se adjunta. Este lugar es conocido por Agadir-el-Bagla; esto es, Presa de la Mula, llmado así por el embalse natural que forman las capas de margas bituminosas que cortan normalmente el cauce del arroyo. La dirección de las margas es, N - 20 - E, y buza 80° al SE.

Las calicatas se han situado de manera que cada una recorta parte del paquete y que todas ellas nos permiten ver el conjunto de estas capas de margas bituminosas.

Calicata 1

Es la más occidental de las cuatro que hemos efec-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tuado en las proximidades. Ha cortado 6 mts. de margas blancas, calizas, muy descompuestas y teñidas de óxido de hierro y de manganeso.

Intercalados en ellas hay algunos lechitos de margas bituminosas poco potentes y muy descompuestas. Debido a esto último y a la existencia del óxido de manganeso, presentan aspecto carbonoso que, al meteorizarse, se vuelve pulverulento.

En el techo de esta formación se presentan unas margas grises, muy calizas y duras que forman potente crestón que por resistir mejor la erosión se advierte en toda la corrida.

Calicata 2

Comienza en el techo del banco calizo que hemos mencionado en la calicata anterior. Así, pues, tenemos:

1) 1,00 m. de potencia. Marga gris, muy dura, caliza.

2) 0,80 m. de potencia. Marga bituminosa. Su análisis revela un contenido de 8,3 % de materias volátiles. El contacto con el lecho calizo anterior es muy claro y definido, pues esta marga bituminosa es en ese contacto muy obscura, pero, a medida que nos acercamos al techo, va tomando color grisáceo y creemos que perdiendo materias volátiles.

3) Mts. de potencia. Marga blanca caliza. Creemos que este banco es el que influye sobre la marga bituminosa situada por el muro, o bien es también una marga bituminosa que por meteorización ha perdido sus aceites.

4) 0,80 mts. de potencia. Marga gris muy dura. Algunas bandas más claras, casi blancas. Intercalaciones poco potentes de margas bituminosas.

5) 2,00 mts. de potencia. Margas grisáceas y pardas, más blandas que la anterior, asimismo con alguna intercalación bituminosa poco potente.

6) 1,50 mts. de potencia. Margas blancas duras.

Calicata 3

Esta calicata se ha excavado unos 20 mts. al N. de la anterior después de una pequeña inflexión que, entre las dos calicatas hace la corrida de margas.

1) 1,50 mts. de potencia. Margas blancas duras. Corresponden al lecho 6) de la calicata anterior. Es decir, que esta calicata núm. 3 es la prolongación hacia el E., o sea el techo de la núm. 2.

2) 1,00 m. potencia. Margas grises duras, meteorizadas. Al partirlas presentan fractura algo concoidea, en vez de dividirse en lajas, como corresponde a la estructura sedimentaria, pizarreña, de estos paquetes de margas. Presentan zonas teñidas por óxidos de hierro.

3) 1,00 m. de potencia. Margas obscuras, muy duras. Aspecto casi de cuarcitas.

4) 0,30 mts. de potencia. Margas blancas.

5) 0,60 mts. de potencia. Margas grises con intercalaciones de margas blancas.

6) 0,30 mts. de potencia. Margas bituminosas, cuyo aspecto anuncia poco contenido de aceites. Muy meteorizadas.

7) 0,80 mts. de potencia. Margas grises y blancas, con alteraciones sucesivas.

8) 1,20 mts. de potencia. Margas pardas, lechos muy delgados con intercalaciones de capitas bituminosas. Muy meteorizadas.

9) Margas blancas, teñidas de óxido de hierro.

Calicata 4

Con objeto de reconocer el lecho de margas bituminosas que aparece en la calicata anterior se hizo esta calicata unos metros más al N., en un lugar en que aparecía menos descompuesta la capa que se quería investigar. Así tenemos:

1) 0,80 mts. de potencia. Margas y grises. Corresponde al lecho núm. 7 cortado por la calicata anterior.

2) 1,30 mts. de potencia. Margas bituminosas. Corresponden al lecho núm. 8 de la calicata anterior. Sin embargo, en esta calicata, ha mejorado notablemente su aspecto, lo que demuestra la influencia tan grande que tiene en la descomposición de estas margas su mayor o menor exposición a los agentes atmosféricos. El análisis de una muestra ha dado 5,8 % de materias volátiles.

3) Más de 1,50 mts. de potencia. Margas blancas.

Galería de Dahar-Tuil.

Después de efectuadas todas estas labores, y con objeto de dar tiempo para hacer análisis de los diferentes lechos de estas calicatas, hemos comenzado la perforación de una galería bajo el cerro de Dahar-Tuil, arrancando del punto P. 47. De esta manera se trabaja durante la estación lluviosa en la galería, donde el tra-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bajo es menos penoso, y se dejan para el verano los de calicatas y trancadas en los puntos que elegimos de acuerdo con el resultado de los análisis.

CAMPO DEL JEMIS DE BENI - ARÓS

Estudio geológico del yacimiento de pizarras bituminosas, de Zoco el Jemis, de Beni - Arós

Al estudiar los yacimientos de Melusa, y del Arba-del-Aiaxa, señalábamos que no serían las únicas zonas donde se encontrarían pizarras, pues éstas forman parte de un tramo del terreno cretáceo, que cubre grandes extensiones en la zona occidental de nuestro Protectorado.

Ello ocurre en el Jemis de Beni - Arós, donde también hay afloramientos importantes de pizarras bituminosas.

Hemos podido caracterizar el tramo por el hallazgo de fósiles del género *Alectryonia*, iguales que los que recogimos en la zona de Melusa.

El cretáceo se presenta aquí, lo mismo que en las otras zonas estudiadas, formando pliegues de gran amplitud y suaves en su conjunto, a los que se añaden otros secundarios de menor alcance, debidos a la gran plasticidad de los materiales pétreos, y pequeñas fallas transversales que originan corrimientos de los distintos paquetes de sedimentos.

Por ello hemos encontrado muchos crestones de cuya posición debemos hacer caso omiso, ya que las hipótesis que formuláramos, nos conducirían a consecuencias falsas.

La posición verdadera y general de los estratos cretáceos es la N-NO, con buzamiento al O-SO, y, a veces, al E-NE que forma un pliegue anticlinal cuyo eje pasa por el punto donde convergen los varios caminos que suben al poblado de Jenadak, al O. del monte Assak, entre Sidi-Lagen y la carretera, el cerro 195, torciendo después al O. para seguir por las proximidades de Cudia Tezar.

El yacimiento en sí, nos parece interesante, pues la discontinuidad de las capas es manifiesta, por los plegamientos continuos y los subsiguientes arrastres. Es decir, que no ofrece regularidad para presentar cubicación estimable.

Hemos prescindido, por ello, y por el aspecto externo que ofrecen las pizarras, que seguramente habrán sufrido metamorfismo, por las causas apuntadas, de tomar muestras de las mismas para ser analizadas.

Por otra parte, la observación de los sedimentos cretáceos en varias zonas del Marruecos Occidental, nos permite establecer unas comparaciones de horizontes y trazar la columna estratigráfica aproximada, que acompaña a este trabajo.

ESTUDIOS PALEONTOLÓGICOS DE LOS CAMPOS

En el estudio de las margas bituminosas, una de las partes más importantes es la determinación de la edad de los terrenos en donde se encuentra. Como, a pesar de la constante búsqueda, ha sido imposible encontrar macrofósiles que nos dieran alguna indicación, se recurrió al estudio de las margas por los microfósiles (foraminíferos) que pudieran contener.

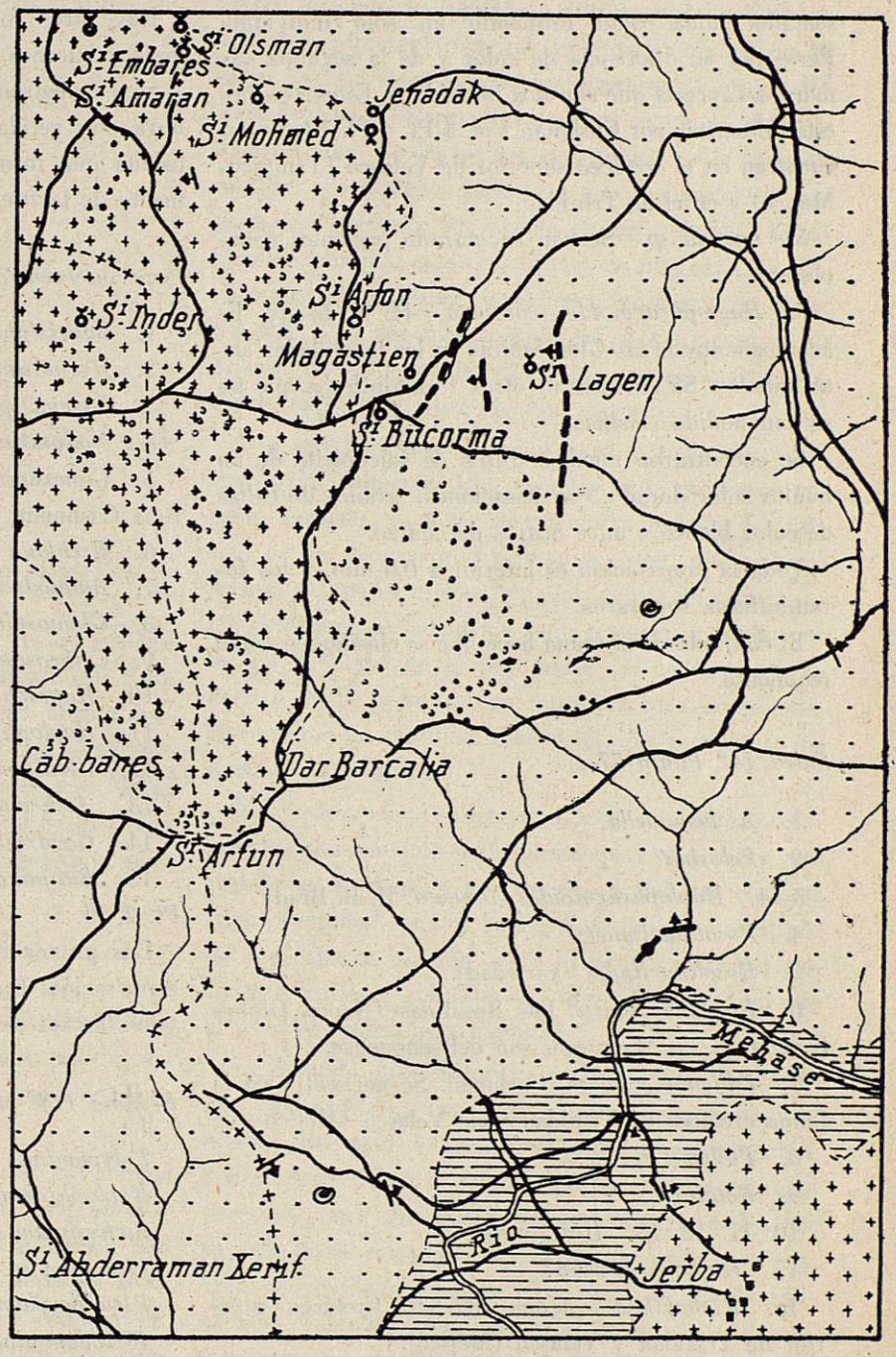
Se tomaron muestras de margas, de varios sitios, después de haber calicateado el terreno o aprovechado los pozos existentes. Las muestras se hierven con sosa comercial para desintegrar a todo el elemento arcilloso y se pasan por un juego de tamices en los que se recoge el residuo, compuesto por foraminíferos y arenas que no ha disuelto la sosa. Estas preparaciones se estudian con el microscopio y se clasifican teniendo en cuenta, no sólo los foraminíferos, sino también su composición litológica, tamaño de sus elementos, cantidad recogida, etc., etc.

De todas las muestras estudiadas presentamos las cinco siguientes. Las cuatro primeras que corresponden a Ain-el-Cat, Snied, Pozo de la Intervención del Arba-del-Aiaxa y Grahma. Las he clasificado como cretáceo, posiblemente superior, o sea, senonense. La última del Pozo de Vigilancia en el Arba-del-Aiaxa, aunque tiene fauna que, en conjunto, parece cretácea, contiene también dos individuos, solamente, de especies que son del mioceno medio: el *Phidium macellum*, Fitchell y Moll y *Rotalia becarri* Linn. Estos dos únicos ejemplares, unidos a la fauna cretácea, han obligado a situar esta muestra, aparte, para continuar estudiando sobre ella.

Ain-el-Cat

1. *Rosalina stuarti.*—No se ha encontrado más que un solo ejemplar y está algo roto. Esta especie se con-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



EXPLICACIÓN

- Aluvial
- Areniscas del Algibe
- Cretáceo. Senonense
- Afloramientos de pizarras
- Yacimientos de fósiles.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sidera en Marruecos característica del cretáceo superior, senonense.

2. *Spiroplectoides clotho.*—Grzybowski. Características del cretáceo superior.

3. *Glomospira gordialis.*—Jones y Parker.

4. *Glomospira charoides.*—Jones y Parker *var corona* Cushman y Jarvis. Estas dos especies se han presentado unida como formando un solo individuo. Pero, por su diferencia de color y de la segunda cámara, se aprecia que son dos individuos. Estas especies están descritas por Cushman Vol. 4 Pt. 4 Pl. 12. Se encuentran en el cretáceo superior de Velasco (Tampico-Méjico) y en el de Trinidad.

5. *Lagena sp.*—Se han encontrado bastantes ejemplares.

6. *Haglophragmoides coronata.*—H. B. Brady. Es acompañante de las Glomospiras en las localidades antes citadas. Se encuentran otros foraminíferos que no se han podido clasificar.

Se encontraron muchos trozos de calcopirita de un bonito color dorado, con irisaciones; granos de caliza de color blanco y unos negros de cuarzo.

Toda la preparación es inferior a 0,6 mm. y los foraminíferos son raros.

El conjunto de la fauna hace que se clasifiquen como senonense.

Snied 142 Punto 57 t.

1. *Aschemonella.*
2. *Pelosina?*
3-14. *Haplophragmoides coronata.* H. B. Brady.
4. *Rosalina linnei.*
5. *Rosalina linnei* (variedad).
6. *Rosalina stuarti.* Las Rosalinas (sinom. Globutruncarna), en Marruecos son del senonense.
7. *Pullenia cretácea.* Cushman. Se encuentra en la fauna cretácea de Trinidad y de Velasco (Méjico).
8. *Pullenia sp.*
9. *Rotalia.*
10, 11, 12, 13. *Hormosina.*
15. *Haplophragmiun?*
16. *Rzehakikna epigona.* Rzehal. Cretáceo superior de Trinidad y Velasco (Méjico).
17. *Rhabdammina.*
18. *Ammodiscus.*
19. *Gribrostomoides.*
20, 21. *Bolivinella.*
22. *Cyclamina.*
23. *Ammohaculites.*
24. *Lagena sp.*
25. *Cristellaria* (sibom. Robulus).
26. *Textulariella.*

Hay otros foraminíferos, y, sobre todo, abundan moldes internos fosilizados en pirita.

Se encuentran muchos trozos de marga gris muy dura con vetillas de calcita. Pirita concrecionada y calcita que forma el principal y más abundante elemento de la *preparación.*

Pozo intervención del Arba-del-Aiaxa núm. 181.

1. *Bathysiphon.*
2. *Hormosina.*
3. *Lagena sp.* Cushman, Vol. 8, Pt. 3, Pl. 7.
4. *Nodosaria.*
5. *Glomospira charoides* Jones y Parker, var. corona Cushman. y Jarvis.
6. *Rzehkina epigona.* Rzekak.
7. *Ammodiscus.*
8. *Glomospira gordialis.* Jones y Parker.
9. *Cribrostomoides.*
10. *Haplophragmoides coronata.* H. B. Brady.
11. *Haplophragmoides excavata.*
12. *Globigorina.*
13. *Aschemonella.*
14. *Gaudryina.*
15. *Bulimina imbricata* Revss. Cushman, Vol. 10, Pt. 2, Pl. 5.

Los granos de caliza blanca forman casi toda la preparación. Hay algo de calcita en trozos y en cristales. Trozos de marga gris muy dura.

Brahma 114, punto 169 t.

Tolypamina?
Haplophragmoides coronata. H. B. Brady.
Bathysiphon sp.
Lituotuba sp.
Pseudocyclammina?
Rhabdammina.

Se presenta la calcita en granos blancos opacos; el cuarzo en granitos microscópicos formando aglome-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

raciones de tonos verdosos y grises; hay incrustaciones en la calcita, algunos cristales de calcopirita.

Pozo Vigilancia del Arba-del-Aiaxa núm. 181.

1, 2. *Cyclammina.*
3. *Glomospira.*
4, 5, 6. *Hormosina.*
7. *Lituotuba.*
8. *Ammobaculites.*
9. *Elphidium macellum.* Fitchell y Moll.
10, 11, 12. *Dentalina.*
13, 14. *Lagena.*
15. *Globigerina.*
16. *Cribrostomoides.*
17. *Rotalia becarii* Linn.
18. *Verneuilina.*
19. *Eponides umbonata* Reuss.
20. *Eponides.*

Toda la preparación está compuesta de calcita y pirita.

III.—ENSAYOS DE LAS PIZARRAS BITUMINOSAS

Damos a continuación una relación de los ensayos de margas del Protectorado, correspondiente a la zona de Ain-Garsul y Megaret. Primeramente, unas consideraciones sobre las formas de muestras. También adjuntamos ensayos realizados sobre muestras de la zona de Megaret, en la que la posibilidad de que sean unas impregnaciones, en lugar de una auténtica marga bituminosa.

Toma de muestras.

No queremos dejar de señalar aquí las dificultades que la toma de muestras representa, sobre todo cuando, como en este caso, el fin perseguido no sólo tiene interés científico, sino industrial.

Los paquetes de pizarra están formados por número muy elevado de bancos de pizarras, yuxtapuestos unos a los otros, separados en muchas ocasiones por bancos estériles de espesor variable. Las leyes en aceite varían extraordinariamente de unos a otros, igual que la composición intrínseca de la pizarra. Las cantidades de carbonato cálcico y de arcilla que las integran varían fácilmente, cambiando su capacidad de alteración y oxidación. En las margas muy calizas y poco deleznables, los hidrocarburos resisten mejor las acciones meteóricas, al ser menos sensible a las acciones oxidantes.

El número de bancos que forman los paquetes es muy grande y pasa, en la mayor parte de los casos, de 50, llegando en algunos a 100 y más. La muestra debe ser representativa, no sólo del conjunto de la capa, ya que éstos supondrían únicamente un interés científico, poco interesantes desde el punto de vista industrial, sino de las partes explotables de la misma; es decir, de aquellos espesores que justifiquen su explotación, teniendo en cuenta su ley relativa. Como ejemplo, diremos que el conjunto de una capa de cinco metros de potencia puede tener ley media de aceite del 2,3 % y ser inexplorable en su conjunto; y en espesor de 1,30 una ley del 8 %, que sería perfectamente explotable, abandonando el resto.

Dos son los procedimientos para la toma de muestras, principalmente. Uno de ellos, muy costoso y pesado, consiste en coger una muestra aislada de cada uno de los bancos que forman la capa, midiendo al mismo tiempo el espesor en centímetros de cada banco. Analizada aisladamente cada muestra, y hecho por la ley de aligación el porcentaje del conjunto de la capa o de la parte que se considera más interesante, se consigue un resultado casi exacto del porcentaje industrial de la misma.

Nos hemos visto obligados a rechazar este procedimiento, reservándolo únicamente para los casos que justifiquen su empleo, por tratarse de labores costosas en profundidad, puesto que el conocimiento completo de una capa en un solo punto exige una cifra tan elevada de análisis, que lo ponen fuera del marco en que nos vemos obligados a movernos.

El segundo procedimiento consiste en ir tomando una cantidad de gramos de pizarra, proporcional al espesor de cada banco, mezclarlos, a continuación, con mucho cuidado y asimilar por cuarteo la cantidad necesaria para un análisis. Como el ensayo Fischer se suele hacer con trozos de pizarra del tamaño de gravilla, por cuidadosa que se haya hecho la mezcla nunca será completamente exacto el resultado. Además, este procedimiento resulta muy difícil y delicado fuera de los límites de un laboratorio de una factoría

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de destilación encargado de seguir la marcha de la explotación de las capas de la mina que surten a la fábrica. En nuestro caso no era posible aplicarlo, ya que, tomando el conjunto de la capa, el análisis resultaría falseado por la gran cantidad de bancos alterados que existen en superficie y que bajarían la ley, sin que pudiera apreciarse la proporción. Este método no hace distinción entre las partes explotables y las que no lo son dentro de la misma capa. Además, la toma aislada de una parte de la capa dejaría a un factor de apreciación puramente objetivo y personal la determinación de la parte más interesante, y podría darse el caso de dejar las partes interesantes y analizar, en cambio, las que no lo fuesen.

Por otro lado, el número de afloramientos era muy elevado, así como el número de bancos en que cada afloramiento formaba la capa, lo que hacía que el número de análisis que haya que realizar en cada banco quedaba fuera de nuestro alcance.

Como la labor encomendada a la Comisión era la investigación de las pizarras bituminosas en la Zona del Protectorado y no el estudio de un criterio determinado, parecía lo más lógico el encaminar nuestros esfuerzos a aquellas zonas en las que los criaderos reunieran el mayor interés y dejar para más tarde el estudio de las que, a nuestro juicio, reunieran importancia secundaria. Nos convenía recurrir a un procedimiento que afirmase o refutase nuestras impresiones personales sobre cuáles eran los bancos mejores, y que, por conservarse en mejor estado, reunían mayores leyes en aceite, para volver sobre ellos con nuevas investigaciones posteriores.

De este modo, en cada calicata superficial se tomaban muestras de los bancos que parecían tener leyes mejores que el resto por estar menos alteradas, se analizaban estas muestras y se comprobaba si era o no cierta esa suposición. En los casos en que los resultados fueron interesantes se ampliaron las tomas de muestras y se efectuaron nuevos análisis. Como las labores de investigación se establecieron en sitios donde las condiciones topográficas permitieron asegurar un recubrimiento apreciable, estas investigaciones no han sido tan completas como hubiéramos deseado. Esta es la razón por la que la Comisión ha tenido el mayor interés en equiparse con los medios que le permitiesen efectuar investigaciones en profundidad, con independencia de las condiciones topográficas del terreno.

Por último, en algunos casos determinados, y como ampliación de los resultados obtenidos, se ha recurrido a efectuar, además de los análisis Fischer, análisis inmediatos que han permitido discriminar el grado de alteración y oxidación de los diferentes bancos de pizarra investigados. Nos ha permitido, además, investigar el carbono fijo de la muestra estudiada.

ENSAYOS DE LABORATORIO DE LAS MARGAS

Muestra núm. 1 (Galería de Ain-Garsul).

Análisis inmediato

Cenizas	87,20 %
Humedad	0,80 »
Volátiles	8,80 »
Carbono fijo	3,20 »

Destilación Fischer

Agua	1,20 %
Aceites	4,09 »
Residuo fijo	93,33 »

Muestra núm. 2 (Galería de Ain-Garsul).

Análisis inmediato

Cenizas	91,30 %
Humedad	0,80 »
Volátiles	3,70 »
Carbono fijo	4,20 »

Muestra núm. 3 (Galería de Ain-Garsul).

Análisis inmediato

Cenizas	91,35 %
Humedad	1,00 »
Volátiles	3,50 »
Carbono fijo	4,15 »

Muestra núm. 4 (Galería de Ain-Garsul).

Análisis inmediato

Cenizas	93,60 %
Humedad	1,00 »
Volátiles	3,50 »
Carbono fijo	1,90 »

Muestra núm. 5 (Galería de Ain-Garsul).

Análisis inmediato

Cenizas	93,40 %
Humedad	1,15 »
Volátiles	3,15 »
Carbono fijo	3,90 »

Punto 248 (Capa 2).

Análisis inmediato

Cenizas	85,00 %
Humedad	0,80 »
Volátiles	7,40 »
Carbono fijo	6,80 »

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Punto 47 (Capa de la galería de Dahar-Tuil).

Análisis inmediato

Cenizas	85,00 %
Humedad	0,90 »
Volátiles	7,05 »
Carbono fijo	7,05 »

Punto 248 (Capa 8).

Análisis inmediato

Cenizas	85,80 %
Humedad	0,80 »
Volátiles	6,20 »
Carbono fijo	6,80 »

Punto 248 (Pizarras estriadas a mano).

Análisis inmediato

Cenizas	86,05 %
Humedad	1,30 »
Volátiles	7,90 »
Carbono fijo	4,75 »

Galería de Ain-Garsul.

Análisis inmediato

Cenizas	93,40 %
Humedad	1,10 »
Volátiles	4,40 »
Carbono fijo	4,40 »

Punto 185-186 (Calicata 4).

Análisis inmediato

Cenizas	86,90 %
Humedad	1,30 »
Volátiles	5,80 »
Carbono fijo	6,00 »

Punto 185-186 (Calicata 2).

Análisis inmediato

Cenizas	82,70 %
Humedad	0,60 »
Volátiles	8,30 »
Carbono fijo	8,40 »

Punto 248 (Capa 7).

Análisis inmediato

Cenizas	88,30 %
Humedad	1,20 »
Volátiles	4,30 »
Carbono fijo	6,20 »

Punto 223.

Análisis inmediato

Cenizas	86,00 %
Humedad	1,30 »
Volátiles	5,00 »
Carbono fijo	7,60 »

Vamos a fijar preferentemente nuestro estudio en dos muestras, la de la Capa número 2 del punto 248 y la número 1 de la galería de Ain-Garsul, que han dado cantidades de relativa importancia, por tratarse de muestras muy superficiales recogidas al principio de los trabajos. Empezaremos advirtiendo que las cantidades de carbono fijo de las mismas no guardan proporción ni con el porcentaje de aceite ni con el de volátiles. Explicaremos nuestro punto de vista sobre este particular.

En la segunda muestra, el carbono fijo, 3,20 %, y el aceite, 4,09 %, parecen estar en relación normal, como corresponde a una pizarra poco descompuesta, ya que, generalmente, la cifra del carbono fijo representa el 70 u 80 % del aceite recogido en la destilación Fischer. El carbono fijo de la pizarra comprende, por una parte, al que queda como residuo del «cracking» de la destilación en la retorta Fischer; por otra, el que haya quedado como residuo de la oxidación sufrida, y, por último, el que hubiera podido contener, como tal, sin combinar.

En la primera muestra, el carbono fijo, 6,80 %, representa el 220 % del aceite o alquitrán primario recogido. Suponiendo, como antes, que proviene del residuo del «cracking» de la Fischer, parte como residuo de la operación, y parte como carbono libre, vemos que supera mucho a la cifra del 80 %, que es la normal en pizarras poco o nada descompuestas. Nada más lógico y natural que conceder que esta muestra ha sufrido una pérdida de hidrocarburos que han hecho que las relaciones respectivas de aceite y de carbono fijo estén tan profundamente alteradas. Estos extremos quedan confirmados por el hecho de que el porcentaje de volátiles es mucho más elevado en la primera muestra que en la segunda, lo que es natural, pues, al principio de la destilación y oxidación, los hidrocarburos más ligeros son siempre los más afectados. Si, como parece natural, la muestra de pizarra que tiene un porcentaje de carbono fijo mayor, hubiera tenido, en realidad, más aceite que el obtenido en el análisis Fischer, los volátiles hubieran sido más elevados, porque representan los hidrocarburos más ligeros de las series aromática y alquílica, que, al ser más fácilmente atacables que el resto, hubieran sido oxidados con anterioridad a los aceites líquidos. Así, como es lógico, los porcentajes volátiles y aceites en las muestras están en proporción directa, mientras que el porcentaje de carbono fijo lo está en la inversa con los anteriores, en las pizarras muy oxidadas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Por las alteraciones que hubieran podido sufrir, se ha mandado hacer el ensayo Fischer de las muestras 223, punto 185-186 (Capa 2) y punto 248 (Capa 8); porcentajes en carbono fijo que parecen justificar ampliamente las posibilidades de que las leyes en aceite vayan en aumento.

ENSAYOS EN EL LABORATORIIO DE COMBUSTIBLES DEL INSTITUTO GEOLÓGICO

Fueron recibidas para su estudio cuatro muestras de margas que numeramos 1 a 4, y cuya designación es la siguiente:

Núm. 1. Beni-Arós.—Galería de investigación en el Brahma, a los 11,40 mts. de la boca.

Núm. 2. Beni-Arós.—Galería de investigación en el Brahma, a los 11,40 mts. de la boca.

Núm. 3. Beni-Arós.—Galería de investigación en el Brahma, a los 12 mts. de la boca.

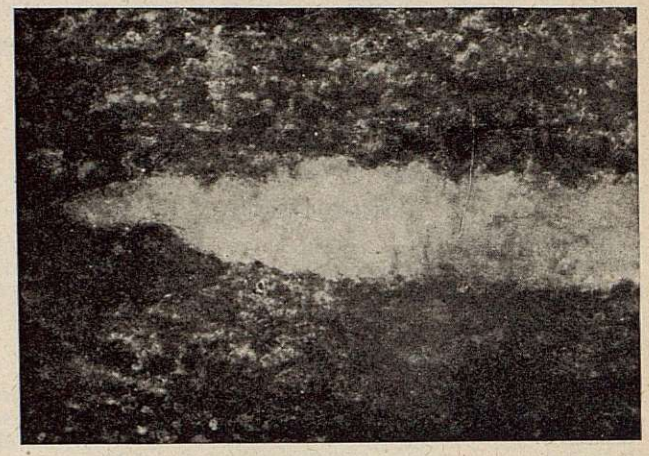
Núm. 4. Beni-Arós.—Galería de investigación en Ain-Garsul, a los 21 mts. de la boca.

A continuación resumimos en un cuadro los resultados de los análisis practicados.

Análisis inmediato	Núm. 1	Núm. 2	Núm. 3	Núm. 4
Cenizas	90,5	89,1	90,1	84,55
Humedad	0,5	0,65	0,7	1,55
Carbono fijo	3,3	3,3	2,7	10,2
Materias volátiles...	5,7	6,95	6,5	3,7
Destilación de la retorta Fischer a 500° C.				
Agua	1,30	0,93	1,07	3,31
Aceites	1,94	2,42	2,30	0,13
Residuo	95,93	96,13	96,15	96,10
Gases y pérdida	0,83	0,52	0,52	0,46
Extracción con S_2C				
Aceites	1,67	1,48	1,45	0,10

Como puede observarse, el rendimiento en aceites es bastante bajo, particularmente en la muestra núm. 4, que es muy pobre en aceites y, en cambio, notablemente más rica en carbono fijo. La observación realizada durante los análisis de las tres primeras muestras, de la gran solubilidad de las substancias orgánicas, nos llevó a pensar en la posibilidad de que se tratara de una impregnación y, para aclarar, en lo posible, este extremo, sometimos todas las muestras a un ensayo de extracción con sulfuro de carbono, con los resultado que figuran en el cuadro que antecede. Los aceites extraídos tienen color pardo obscuro y consistencia pastosa, sin apenas olor, todo lo cual demuestra que contienen muy escasa proporción de aceites ligeros.

Además, estudiamos con el microscopio una de las muestras (la núm. 2), y pudimos comprobar que contenía nódulos no muy abundantes de substancias de aspecto resinoso o bituminoso. La microfotografía que



Microfotografía de pizarra bituminosa

se adjunta permite apreciar uno de estos núcleos (mancha clara), rodeada de la substancia mineral de la marga (parte obscura). Esta microfotografía fué preciso obtenerla con objetivo Ultraopak, para destacar las diferencias de coloración apenas visibles con luz reflejada. La iluminación en campo obscuro permite apreciar los reflejos internos de la masa bituminosa translúcida. En cambio, la pasticidad de las substancias bituminosas es causa de que la microfotografía presente aspecto desdibujado en los bordes de los granos, consecuencia del efecto del trabajo de pulimento de la muestra sobre substancias de escasa dureza.

La existencia de estos nódulos bituminosos aislados y el hecho de que el rendimiento de la extracción resulte inferior al de la destilación en retorta Fischer a 500°, a pesar de no existir en el primer caso descomposición pirogenada de los betunes primarios, nos lleva a suponer que el origen de la existencia de los aceites en estas margas puede atribuirse al soterramiento de las substancias orgánicas al mismo tiempo que se produjo la sedimentación, más que a una impregnación posterior a ella.

Estudio calorífico de la marga bituminosa.

Vamos a estudiar a continuación las pizarras bitu-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

minosas, desde el punto de vista calorífico, por el gran interés industrial que el mismo encierra.

La pizarra constituye por sí misma un combustible de baja calidad, que en los casos en que la ley de aceites ha sido elevada, unida a escasez total de combustibles naturales, se ha empleado como combustible, quemándola al natural o gasificándola por medio de gasógenos. Este es el caso, en Estonia, donde la ley de aceite en la pizarra es tan elevada (pasa del 20 %) que permite el uso a que antes nos referíamos. Su combustión directa une al rendimiento bajo de la combustión el inconveniente del gran volumen que ocupan los residuos o cenizas que quedan después de la combustión.

El procedimiento de gasificarla dió buen resultado, obteniéndose un gas combustible con potencia calorífica de más de 3.000 calorías por metro cúbico. Esta gasificación se efectúa en los gasógenos estonianos.

Este procedimiento de utilización no es aplicable a las pizarras estudiadas, no sólo por su baja ley, sino porque para nosotros sería más útil la producción de carburantes que cualquier otra aplicación. Efectuamos, no obstante, este estudio por las provechosas consecuencias que se pueden sacar, por considerarlo indispensable para cualquier estudio posterior que se efectúe sobre la posible aplicación y utilización de las pizarras de baja ley.

Tres son los elementos que suministran calor en el momento de la combustión de la pizarra. Son, por su orden de importancia: el aceite o alquitrán primario, el carbono fijo y los gases combustibles o hidrocarburos gaseosos. Como hemos indicado, los hidrocarburos se encuentran potencialmente en la pizarra. Cuando ésta se calienta, comienzan las reacciones internas que dan lugar a la formación del aceite. En el momento en que se alcanzan los 250° ó 300° C. se hace visible el fenómeno y comienza la producción de vapores con los hidrocarburos, que en forma gaseosa abandonan el interior de la pizarra. Enfriados esos vapores a la temperatura normal, los hidrocarburos líquidos se condensan, mientras que los más ligeros permanecen en forma de gases incondensables, combustibles. Al seguir aumentando la temperatura, continúa este proceso de formación, pero al alcanzar los 450° C. los hidrocarburos con larga cadena de carbones sufren un «cracking» o fraccionamiento que da lugar a la formación de otros hidrocarburos más ligeros, y, en el límite, a la formación de hidrógenos, por un lado, y carbono, por otra. Quedan, pues, así formados los tres elementos combustibles de que hemos hablado: alquitranes primeros o hidrocarburos líquidos, carbono fijo y gases combustibles o hidrocarburos gaseosos con hidrógeno. La suma de las potencias caloríficas de cada uno de éstos nos dará la potencia calorífica total.

Aplicando esto a las dos pizarras bituminosas a que antes nos hemos referidos, cuyos análisis son:

Primera pizarra:

Análisis inmediato

Cenizas	87,20 %
Humedad	0,80 »
Volátiles	8,80 »
Carbono fijo	3,20 »

Destilación Fischer

Agua	1,20 %
Aceite	4,09 »
Residuo	93,33 »
Gases	1,38 »

Segunda pizarra:

Análisis inmediato

Cenizas	85,00 %
Humedad	0,80 »
Volátiles	7,40 »
Carbono fijo	6,80 »

Destilación Fischer

Agua	2,30 %
Aceite	3,05 »
Residuo	93,33 »
Gases	1,12 »

Para determinar su potencia calorífica, ya que no nos ha sido posible utilizar el procedimiento directo del calorifímetro, emplearemos la fórmula de Goutal a partir del análisis inmediato, y el procedimiento directo de sumar las potencias caloríficas de los tres elementos combustibles, aceite, carbono y volátiles, refiriendo los resultados obtenidos a un kilogramo de pizarra.

La fórmula de Goutal es la siguiente:

$$P = 82\ C + a\ V_1$$

En la que C, es el porcentaje de carbono fijo; V_1, el porcentaje de volátiles, y a, un parámetro que se determina en función de V_1, que es el porcentaje de volátiles referido a un kilogramo de mineral sin cenizas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La primera pizarra serán:

$$a = 52 \quad V_1 = 8{,}80 \quad C = 3{,}20$$

por tanto, aplicándolos en la fórmula anterior,

$$P = 262 + 460 = 722 \text{ calorías/kilogramo.}$$

Para la segunda pizarra tendremos:

$$a = 60 \quad V_1 = 7{,}40 \quad C = 6{,}80$$

que aplicados en la fórmula anterior, dan:

$$P = 517 + 444 = 961 \text{ calorías/kilogramo.}$$

Utilizando el segundo procedimiento, teniendo en cuenta que consideramos una potencia calorífica de 10.500 calorías por kilogramo de aceite, 8.040 calorías por kilogramo de carbono y 6.600 calorías por metro cúbico de gases combustibles —consideraremos a estas fases formadas por tres partes de gas de destilación a 5.500 calorías por metro y una parte de gas de «cracking» a 10.000 calorías por metro cúbico.

Esto nos dará por tonelada de pizarra:

40,00	×	10.000	=	429.450 Calorías
32,00	×	8.040	=	257.280 »
18,00	×	6.600	=	85.800 »
			Total.....	772.530 Calorías

o sea,

772,53 Calorías/kilogramo

Para la segunda muestra:

30,50	×	20.500	=	320.250 Calorías
68,00	×	8.040	=	546.720 »
11,00	×	6.600	=	72.600 »
			Total.....	939.570 Calorías/tonelada

o sea,

939,57 Calorías/kilogramo

No conviene olvidemos la circunstancia de que estas muestras pertenecen a la zona de meteorización superficial de la que han emigrado los aceites y parte de los gases combustibles de la misma.

Ahora bien, estas calorías son desprendidas en el momento de su combustión, que empieza a los 300° C. Vamos a establecer el balance térmico de su combustion.

El calor específico de la pizarra bituminosa, es decir, el calor necesario para aumentar un grado su temperatura, es 0,248 calorías, que es el que tomaremos para el cálculo.

La cantidad de calor necesaria para subir la temperatura de la pizarra a 950° C., será:

$$950 \times 0{,}248 = 235{,}00 \text{ Calorías}$$

En un gasógeno apropiado se puede considerar que el rendimiento de la combustión puede ser de un 80 %, es decir, que las pérdidas por radiación, conducción, exceso de aire, etc., constituyen un 20 % del total contenido en la pizarra.

Por otro lado, considerando que son necesarios 12 m³ de aire para quemar un kilogramo de aceite, y 8 m³ para la combustión de metro cúbico de gas, el aire para la combustión de los elementos combustibles de la pizarra será:

68	×	12 m³	=	816 m³
30,5	×	10 »	=	305 »
11	×	8 »	=	88 »
			Total.....	1.209 m³ por tonelada de pizarra.

Considerando como calor específico medio de los humos será el de 0,33 calorías por metro cúbico, suficientemente aproximado para nuestro cálculo, necesitaríamos: 1.209 × 0,33 = 400 calorías, aproximadamente, para subir la temperatura de los humos a 950° C. Como ya hemos visto, para las pérdidas de calor necesitaríamos 190 caloría, o sea, un 20 % del total, con lo que tendremos:

Para calentar 1 Tn. de pizarra a 950° C...	235.000
Para calentar 1.209 m³ de humos a 950° C... ...	400.000
Para pérdidas caloríficas	190.000
Total calorías	825.000

lo que quiere decir que quedan libres:

939.500 — 825.000 = 114.000 calorías, que subirían la temperatura de la pizarra y de los gases a 1.150°, aproximadamente. El calor latente de la pizarra es prácticamente imposible de recuperar, pero el calor sensible de los humos puede ser recuperado, para la producción de energía, pero su solo empleo para este fin sería prohibitivo, económicamente. Las pizarras son un combustible de mala calidad que no es posible pensar en utilizar como tal.

Se deduce del cálculo anterior que la pizarra descompuesta y falta de volátiles es capaz de alcanzar 1.100° C. sin fuente calorífica exterior alguna, con sólo quemar los elementos combustibles que la misma contiene, lo cual puede ser base para una posible aplicación.

Ca O	50,2
Si O_2	27,6
Al_2O_3	8,4
Fe_2O_3	8,6
Mg O	3,1
SO_3	2,1

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Comparando estas cifras con las siguientes:

Ca O	52 a 65 %
Si O_2	20 a 29 %
Al_2O_3	5 a 11 %
Fe_2O_3	2 a 6 %
Mg O	0,5 a 3 %
SO_3	0,5 a 2,5 %

que son los componentes límites de los cementos, vemos que difieren poco de las mismas, y con pequeñas adiciones de algunos elementos, margas calizas, y que en muchas ocasiones se presentan en el techo o en el muro de las capas de pizarras, es posible considerar a la pizarra bituminosa como materia primera para la fabricación del cemento, con la ventaja para la misma de ser autotérmica, es decir, que con las calorías contenidas en ella, es capaz de alcanzar la temperatura necesaria para la fabricación del cemento.

Para la fabricación del cemento, los elementos que lo forman, después de mezclados y amasados, son sometidos a una temperatura de 1.250° C. en hornos calentados con carbón pulverizado o mazout. El gasto de combustible representa en países como España, donde es posible encontrar menudos de carbón a precio muy bajo, el 18 % de los gastos totales de producción, y, en países carentes de combustibles, como ocurre en Marruecos, este gasto se elevaría, lo menos, al doble, es decir, al 25 % de los gastos totales de producción.

Como hemos indicado, la pizarra es autotérmica, o sea, capaz de alcanzar esta temperatura sin combustible de ninguna clase; luego, caso de ser posible su utilización en la fabricación del cemento, se eliminaría una parte muy importante del consumo de combustible.

No se quiere decir con esto que hayamos resuelto el problema de la fabricación del cemento sin el empleo de carbón, puesto que son necesarias bastantes más cosas para llegar a ponerla en práctica, tales como uniformidad en la composición de los bancos, coste de extracción, cubicación, etc., pero no hemos querido dejar de apuntar esta magnífica posibilidad que presentan las pizarras bituminosas de la Zona. Posibilidad que la Comisión sigue y seguirá estudiando con todo ahinco para la mejor utilización y aprovechamiento de los recursos minerales de Marruecos.

CONCLUSIONES

1.ª Las margas bituminosas abundan, con profusión, en la Zona del Protectorado Español de Marruecos.

2.ª Los modestos reconocimientos superficiales realizados permiten sospechar la existencia de extensos yacimientos.

3.ª Un reconocimiento en profundidad, por sondeos, permitiría conocer, cualitativa y cuantitativamente, la importancia de los yacimientos; y

4.ª Existe la posibilidad de fabricar cemento con las margas de baja ley, que permitiría disminuir muy sensiblemente el coste de la producción de carburantes líquidos con los de ley elevada, al mismo tiempo que resolvería el problema de la fabricación de aquél en la Zona del Protectorado, por la falta de combustible.

Y después de la lectura, a la que no se presentan objeciones, se prosigue con la del resumen del trabajo siguiente núm. 240.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

N.º 240. - Breve noticia sobre el oro de Angola

Autor: D. JOSÉ LUIS PASTORA
Ingeniero de Minas

Mientras se discute en Estados Unidos de América la conveniencia de elevar el precio del oro, a lo que existe fuerte oposición, para no depreciar la moneda, baja la producción del metal en casi todos los países, y en el Sur de África se vive una crisis peligrosa que dificulta el sostenimiento de aquel enorme desarrollo de las explotaciones auríferas. En las revistas técnicas se declara ser preciso un capital de entre 2 y 5 millones de libras esterlinas para colocar una onza de oro en bocamina; se dice que para sostener la producción sería preciso abrir una mina nueva cada seis meses, y que los precios actuales de coste son insostenibles, trabajando minerales a 2.000 metros de profundidad, con una riqueza que oscila entre 6 y 10 grs. de oro por Tn.

Las colonias portuguesas de Angola y de Mozambique están comenzando los trabajos de prospección y explotación del oro. En ellas se siente actualmente el interés que siempre tienen los descubrimientos, las prospecciones y todos estos primeros pasos, tan complejos y difíciles, en países vírgenes y en uno de los continentes de mayor atracción minera.

En Mozambique, el Estado portugués realiza hoy, respecto diferentes minerales, un programa de gran amplitud, y en Angola, la empresa portuguesa «Sociedade Mineira do Lombige» (S. A. R. L.) está iniciando las primeras investigaciones auríferas, sobre las cuales vamos a dar esta breve noticia al Congreso, atendiendo la amable invitación de su ilustre Presidente.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA

La zona donde trabajamos, con la extensión superficial aproximada de 100.000 Kms. cuadrados, está limitada por los meridianos 13 y 17°, Este Grw, y los paralelos 14 y 16°, Sur.

Las comunicaciones con el interior, por pistas de tierra, se realizan en miles de kilómetros sin dificultades; sin embargo, en la época de grandes lluvias, resulta difícil el acceso a determinadas regiones.

El clima, variable según las distintas zonas, es bueno en general, y sus condiciones tropicales están muy atenuadas en estas latitudes, a lo que contribuye mucho la altitud, que llega a los 2.000 metros en algunos parajes.

Nova Lisboa y Sá da Bandeira son las ciudades principales de esta parte del territorio angolano donde operamos, en el que se encuentran repartidos los puestos administrativos, donde además del personal oficial, existen otros pocos blancos dedicados a comerciar con los

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

productos agrícolas del interior de Angola, consistentes sobre todo en alubias y maíz.

Merecen citarse, entre las cosas que más ayudan al contacto con los puertos de Luando y Lobito, de los cuales es el primero, prácticamente, la capital de la Colonia, el magnífico servicio aéreo que une diariamente las ciudades entre sí y el ferrocarril de Benguela, que partiendo del puerto de Lobito enlaza Angola con el Congo Belga y constituye la vía de salida de los famosos minerales de Katanga.

ANTECEDENTES

En los cuatro siglos que lleva Angola en manos portuguesas, ha sido constante el progreso realizado en todos los aspectos, reflejándose en cada momento histórico las vicisitudes nacionales, pero las enormes dificultades y grandes sacrificios que la colonización exige supusieron esfuerzo seguramente incompatible con el desenvolvimiento de la industria minera, lo que explica que no haya llegado a tener todavía en Angola la importancia que tiene en otras colonias del Continente. Como los diferentes minerales adquieren o pierden importancia, según el instante universal, su grado de aprovechamiento, los progresos de la técnica, etc., sólo en un momento propicio pueden reunirse las condiciones necesarias para acometer la arriesgada empresa minera con todo el método, coste y paciencia que requiere.

La primera minería de Angola está constituída por la conocida e importantísima explotación de diamantes al N. E. de la Colonia. Secundariamente, se aprovechan, en pequeña escala, cobre, manganeso y mica, además de la explotación de asfalto.

El oro, como ocurre siempre en los países nuevos, fué codiciado por nacionales y extranjeros. Así, ya en el siglo XVIII, se enviaba a Portugal oro extraído del río Lombige y los muchos depósitos secundarios extendidos por el país han sido siempre objeto de pequeñas explotaciones hechas por aventureros.

A fines del siglo XIX, el sabio geólogo alemán Arndt permaneció algunos años en Angola y descubrió las principales riquezas auríferas. Señaló ricos aluviones en el río Coluí, zona de Cassinga, y encontró filones allí y en otros puntos del Sur de la Colonia.

En lo que va de siglo, poco se aumentaron los descubrimientos de Arndt. Mas apoyándose en ellos, se hicieron diferentes intentos infructuosos. Dos guerras que afectaron a los países más interesados en esta minería, y las rebeliones indígenas en las regiones auríferas, fueron la causa de que se llegase hasta hoy con este problema casi intacto.

Es interesante la lectura de algunas viejas noticias, recopiladas casi todas por los primeros misioneros llegados a la Colonia, a quienes se deben los primeros trabajos en ella, de extraordinario mérito en todos los aspectos.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

Los horizontes geológicos que interesan para la minería del oro son los pertenecientes al sistema denominado oendolongo, que corresponde al Witwatersrand System de África del Sur y al Système Métamorphique del Congo Belga (algonquino), constituído, principalmente, por cuarcitas, pizarras y grauwacas. En él se observa el paso gradual de pizarras micáceas a gneises, con intrusiones de rocas básicas e intermedias. Excepcionalmente, en la zona de Cassinga se encuentran filones arcaicos de cuarzo aurífero que arman en granulitas.

El llamado Sistema del Bembe, correspondiente al Nama Sistem del Sudoeste Africano (precambriano), reposa sobre granodioritas y está formado por conglomerados, pizarras y cuarcitas compactas con feldespato, turmalina y magnetita.

Las rocas intrusivas son doloritas sin olivino (anteriores al Sistema del Bembe) o doloritas con olivino (intrusión postcretácea), ofitas, granitos anfibólicos, que pasan a pórfidos cuarcíferos por diferenciación marginal, etc. Está relacionada la existencia del oro con las rocas hipogénicas posteriores al Sistema del Bembe (rocas verdes). Los filones auríferos son el último producto de diferenciación del magma, lo que puede observarse en casi todas las manifestaciones auríferas de la Colonia.

Los movimientos tectónicos que más afectaron a las formaciones geológicas de Angola, influyendo en las mineralizaciones, fueron el huroniano y el caledoniano.

Los terrenos geológicos de las zonas auríferas están recubiertos hasta 4 ó 5 metros de profundidad por la-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

teritas procedentes de la descomposición de rocas ferromagnesianas.

La geología de Angola ha sido estudiada, principalmente, por los geólogos Bebiano, Sousa, Mouta y O'Donnell (1). También se han realizado algunos trabajos parciales y estudios relacionados con proyectos de explotación de algunos minerales; son los más importantes los que se refieren a combustibles líquidos.

Respecto al oro, se hicieron algunas observaciones geológicas con poco detalle y se había sacado la consecuencia de que algunos de los abundantes aluviones auríferos existentes en el país merecían ser atacados con modernos sistemas de explotación. Corresponden estos depósitos secundarios a los antiguos cauces de ríos, con diferentes niveles. A pesar de haber sido indicada alguna posibilidad de explotación en la zona de Cassinga, se suponía que los filones debían merecer interés, considerando que el oro provenía, en su mayor parte, de vetas auríferas relacionadas con un magma granítico, y de las cuales vetas sólo quedaban hoy unas raíces inexplotables. Sin embargo, nuestra experiencia nos ha demostrado que, afortunadamente, parece errónea esta idea. Sobre esto existen trabajos del geólogo inglés Hall bastante ligeros, a nuestro juicio.

Creemos que puede esperarse mucho de los filones auríferos de Angola, colocados en condiciones geológicas muy parecidas a las que existen en los países del Sur de África, donde con tan buen éxito se ha trabajado.

Los límites de explotabilidad de un filón aurífero en Angola pueden ser los que correspondan a 1 m. de potencia y 7 grs./Tn. de oro en longitud mínima de 1 Km.

En cambio, poco porvenir industrial pueden tener los depósitos secundarios, de las siguientes características:

1.° Si se exceptúa la región de Cabinda, enclave al Norte de la Colonia, estos depósitos corresponden casi siempre a aluviones ricos y de poca extensión.

2.° Han faltado condiciones tropicales en el Sur de Angola, en el régimen fluvial, para tener aluviones explotables, y algunos ríos, muy ricos en oro, como Lombige; discurren por un lecho muy apretado, sin terrazas, con superficie suficiente para poder trabajar en gran escala.

3.° No pueden emplearse ninguno de los sistemas propios para explotaciones industriales importantes por esa falta de extensión para las dragas o bombas de grava y por la escasez de agua, que la mayor parte de las veces hace imposible el uso de procedimientos hidráulicos.

En nuestra opinión, es antieconómica la explotación con «sluices». Lo frecuente es encontrar riquezas de alrededor de 1 gr. por metro cúbico de grava, y es posible tener hasta 4 ó 5 grs. en algunas pequeñas bolsas ricas. Hubo zonas, como la de Cassinga, donde han sido lavados aluviones con 30 y 40 grs., pero estos depósitos están ya completamente agotados.

Se olvidó con frecuencia en Angola que los yacimientos deutógenos de aquí están en circunstancias muy diferentes a las de los del África Ecuatorial Francesa o del Congo Belga, por lo que fallan los sistemas que allí se emplean.

La explotación de eluviones, que, generalmente, se encuentran al pie de las formaciones filonianas, puede servir para ayudar a la minería que trabaje depósitos primarios, empleando bateas mecánicas, del tipo Denver, propias para obtener gran rendimiento en depósitos ricos con poco consumo de agua.

A continuación vamos a exponer datos relativos a ensayos de explotación de depósitos secundarios y a presentar un filón típico en condiciones las más favorables, para la explotación del oro en yacimiento primario.

YACIMIENTOS DEUTÓGENOS

Tras de haber prospectado aluviones y eluviones en diferentes lugares de la Colonia, en ríos donde era tradicional la existencia de oro en las gravas y arenas de sus márgenes, hemos estudiado la explotación en los ríos Lomoma y Gangaue, en la concesión minera llamada «Chiriva», situada en el paralelo 14° S. y a 135 Km. de la ciudad de Nova Lisboa.

La principal característica de estos depósitos es la

(1) Bebiano, José Bacelar: *Geología e Riqueza mineira de Angola. Subsidios para o estudo geológico e mineiro de Provincia de Angola.*
Sousa, F. L. Pereira de: *Contribution à l'étude pétrographique du nord d'Angola. Contribution à l'étude pétrographique du sud-ouest d'Angola.*
F. Mouta y H. O'Donnell: *Carte géologique de l'Angola.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

irregularidad, tanto en riqueza como en potencia de grava.

La grava está recubierta por unos bancos horizontales de arenas, casi estériles, con espesor variable de 1 a 9 m., y la potencia de la grava oscila entre 0,80 y 2 m. La riqueza máxima se aproxima a 2 grs. de oro por metro cúbico, sin que pase la mínima, en las tierras más pobres, de 0,2 grs.; es de alrededor de 1 gramo por metro cúbico la riqueza media.

Pueden distinguirse los aluviones propiamente dichos, de poca extensión, en las márgenes de los ríos, y los eluviones que, a distintos niveles, están repartidos en zonas de superficie variable, que rara vez alcanza un área superior a un kilómetro cuadrado.

Con estas características, la prospección tradicional con sonda «Banka», de 4″ ó 6″, trabajando en retícula, para dar una idea de la riqueza media, tanto más exacta cuanto más apretadas son las líneas de prospección, resulta poco práctica y demasiado costosa, sin contar con la dificultad que existe a menudo para atravesar la grava, que contiene grandes bloques de derrubios del eluvión. Empleando los tractores, a que luego haremos referencia, para una rápida prueba industrial, se obtiene gran ventaja económica sobre el empleo de sondas.

Como ya señalamos, el agua apenas llega para lavar en las épocas de estiaje, y cualquier sistema hidráulico exigiría grandes obras de elevación para llevar el agua desde los ríos más caudalosos hasta los eluviones situados en cotas superiores, lo que de ninguna manera pagaría el oro extraído.

Nuestros experimentos industriales se han llevado a cabo utilizando la sonda «Banka» como detectora de grava, y hemos sondeado, en total, 1.800 m., valiéndonos de pocillos para el examen de la riqueza, desmontando el estéril con tractores «Caterpillar», únicas máquinas aquí aplicables, para lavar luego en «sluices» la grava aurífera, transportada con el propio tractor, cuando era posible, o con volquetes sobre carriles, cuando el terreno no permite el empleo del tractor.

Pequeñas presas construídas en la concesión reúnen las aguas, que son conducidas por canales a los lugares de ubicación de «sluices».

La novedad que supone la utilización de tractores en esta clase de explotaciones ha demostrado la eficacia de estas máquinas, en condiciones como las que exponemos, con las que puede obtenerse un movimiento de tierras de 1.000 metros cúbicos, en 10 horas de trabajo, con franjas de 70 metros de extensión, combinando el trabajo de un tractor D.8 con el de otro D.6.

El laboreo se realiza abriendo un campo, cuyo estéril se vuelca en un extremo que no tenga grava aurífera, para continuar el campo siguiente echando su estéril sobre el primero ya trabajado, y situando los «sluices», en cada caso, donde convenga.

Con los datos obtenidos en 6 meses se han deducido los límites locales de explotabilidad, que pueden estudiarse en las curvas que hemos trazado, representando las relaciones entre los diferentes factores en juego.

En la curva A, llevando: en la y, metros cúbicos de grava descubiertos por el tractor, y en la x, relación del estéril a la grava, encontraremos los metros cúbicos de grava disponible en función de esta relación, partiendo de una capacidad de 700 metros cúbicos de movimiento de tierras, en 10 horas de trabajo de un tractor D.8.

Siendo P el precio de descubrir, transportar y lavar 1 metro cúbico de tierras, resulta $P = C.\frac{E}{G} + P'$; donde C es el coste de arranque con tractor de 1 metro cúbico de tierras, E y G los espesores de estéril y grava, respectivamente, y P′ el coste de transportar y lavar 1 metro cúbico de grava (curva B).

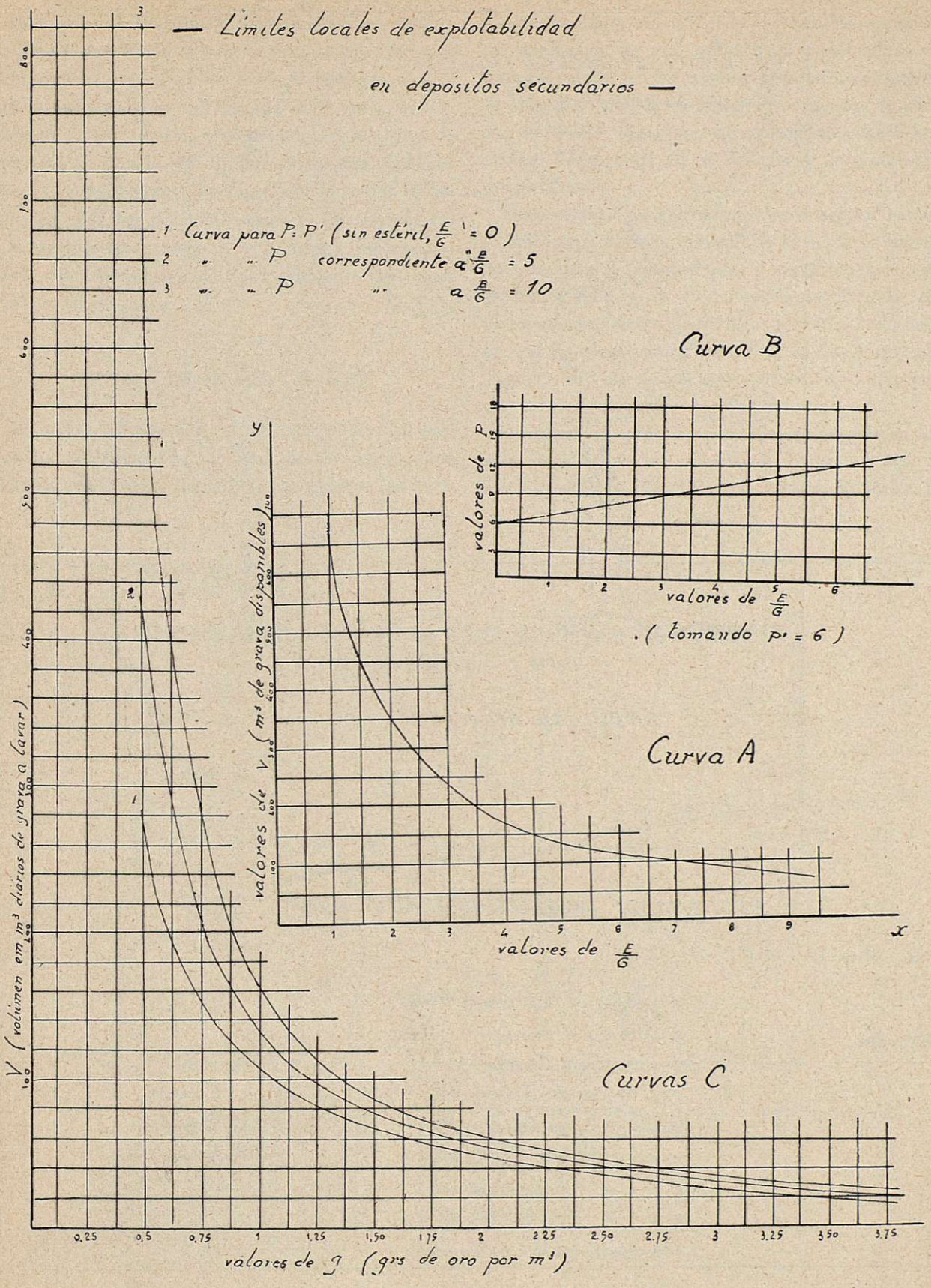
La ecuación general es: $S.g.V = F + P.V$; en la cual, S es el precio de venta en el mercado del gramo de oro, g es la riqueza en gramos por metro cúbico, V el volumen diario lavado en 10 horas y F los gastos generales. Esta ecuación, representada en las curvas C, relaciona los valores de V y de g, dando una curva para cada valor de P. Pueden hacerse interpolaciones.

Así, para cada valor de $\frac{E}{G}$, determinado por la prospección, hallamos uno de P y otro de V, y llevando este V a la curva C, correspondiente al P encontrado en la B, podemos saber el límite mínimo de g, capaz de verificar la ecuación general de coste. Por ejemplo, para nosotros, los límites son 1 gramo de oro por metro cúbico y una potencia de estéril que no sea superior a 4,5 veces la potencia de grava.

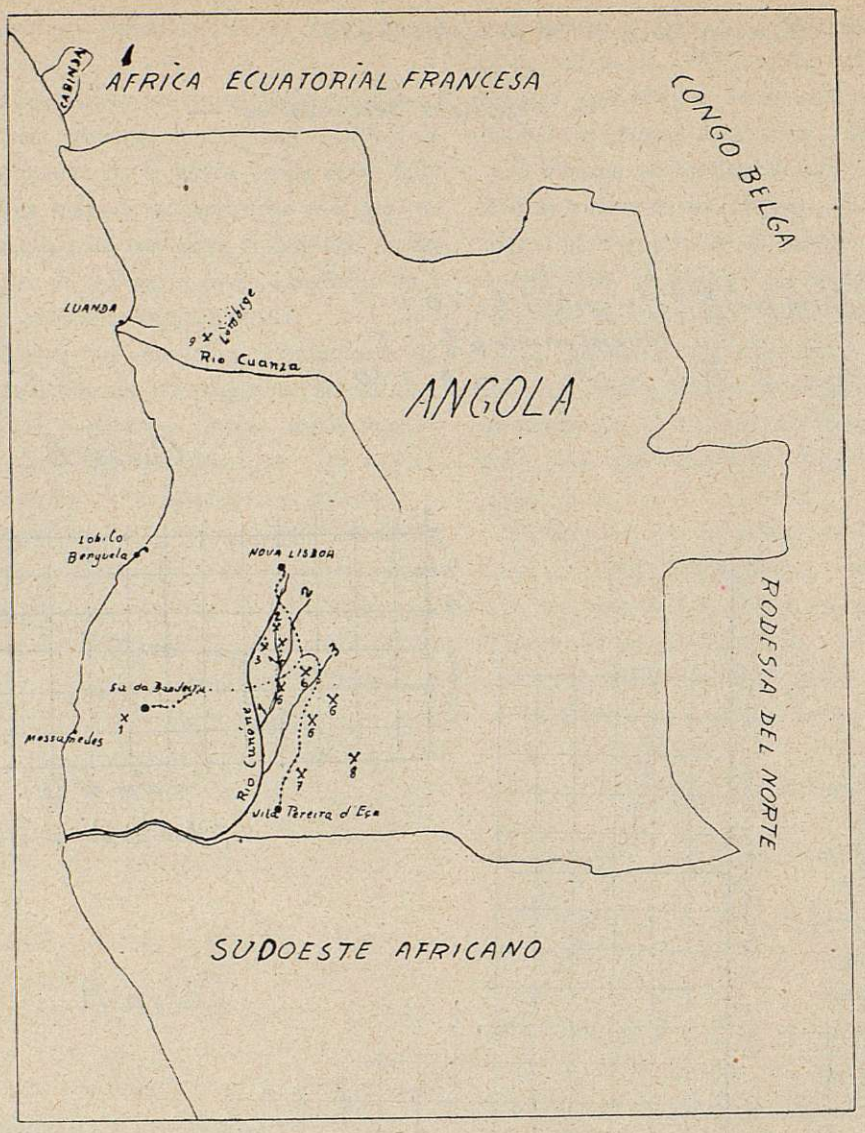
FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

— Límites locales de explotabilidad

en depósitos secundários —



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



ESQUEMA DE PROSPECCIONES AURIFERAS

X-1- Zona de la Sierra de Neves
X-2- Minas de Chiriva
X-3- Mina del Chombo
X-4- Region del Cuanja
X-5- " de Cassinga
X-6- " del Cuvelai
X-7- " de la Mupa
X-8 " de Tala Anneba
X-9- Aluviones del rio Lombige

~1 Rio Colui
2 " Cuanja
~3 " Cuvelai
..... Pistas de tierra

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

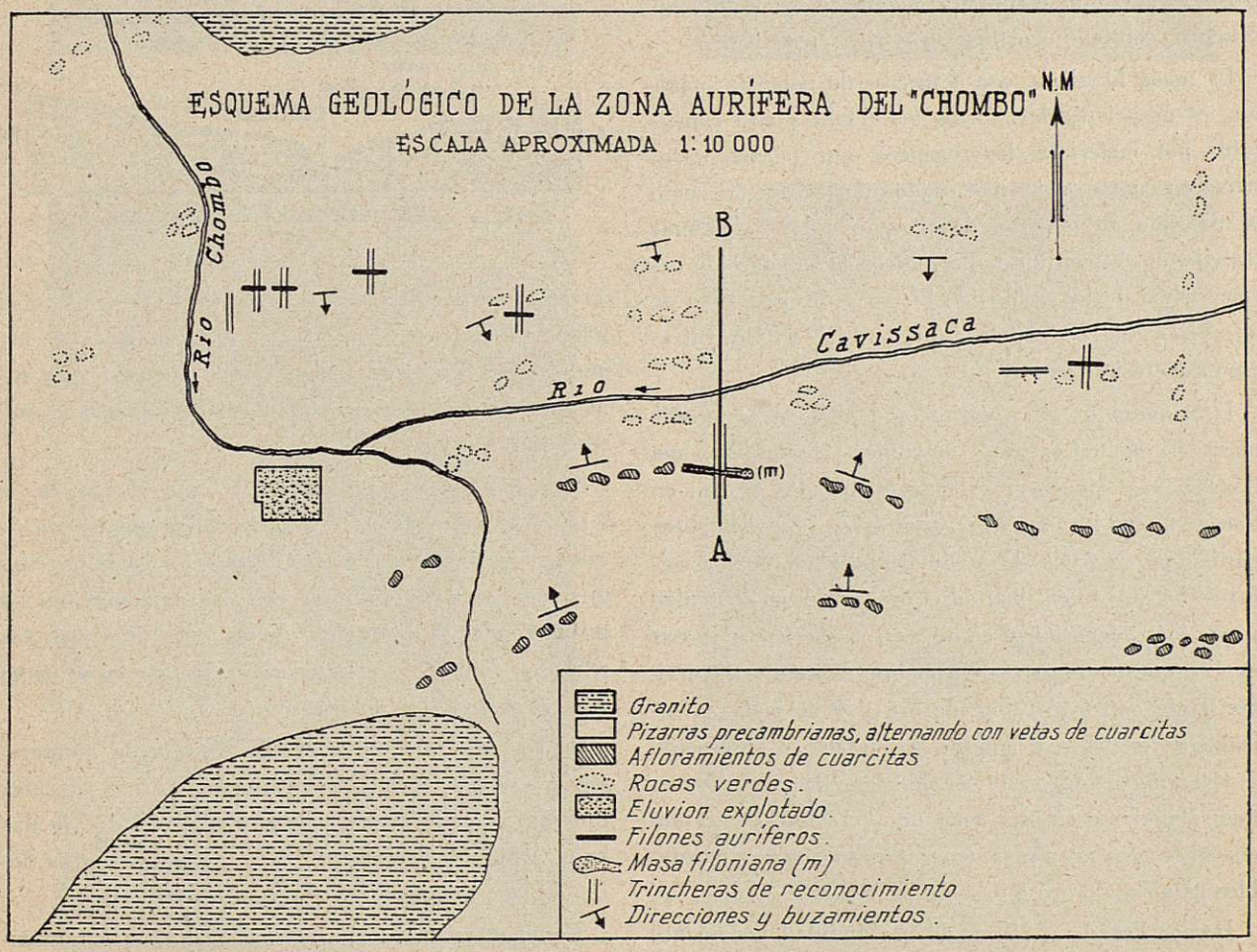
Hemos ensayado diversos tipos de «sluices» metálicos, según la calidad y tamaño de la grava que precisaba lavar, para tener las menores pérdidas de oro. El volumen de agua, con relación al de grava, es 8 ó 10 veces mayor, para un tratamiento, con «sluices», de 100 metros cúbicos en 10 horas, aproximadamente. Gasto que crece proporcionalmente al contenido en arcilla. En pequeñas pruebas, usamos un tipo de «sluice» que permite lavar entre 1 y 2 metros cúbicos por hora, con un volumen de agua solamente tres veces superior al de grava.

MASA Y FILÓN DEL CHOMBO

El estudio de este filón ofrece interés especial, porque ha proporcionado muestras de ley extraordinariamente elevadas y suministra un ejemplo de yacimiento filoniano en la serie metamórfica capaz de dar enseñanzas de gran valor, facilitando mucho los trabajos futuros de otras zonas filonianas de Angola, en análogas condiciones geológicas como las de «Sierra de Neves», «Cuanja», etc., cuyas situaciones geográficas hemos marcado en el esquema de prospecciones auríferas.

Estas condiciones geológicas, que se repiten bastante, son favorables a la mineralización aurífera. En síntesis, se trata de vetas, filones y masas filonianas que arman en las pizarras y cuarcitas precambrianas, con fuerte mineralización de sulfuros auríferos, relacionada con las rocas verdes, intrusivas en esta formación. También hay oro en los bancos de cuarcitas, que pueden seguirse en 1 Km. de corrida.

La formación precambriana aparece plegada en una serie de anticlinales y sinclinales. Siguen sus ejes dirección tectónica NE.-SW., con inflexiones locales. En



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la zona estudiada corre, aproximadamente, E.-W., con ligera desviación al N.

Como hipótesis metalogénica, nos parece que puede definirse este criadero como epigenético, originado por grietas de exfoliación en los estratos metamórficos, rellenas por un material constituído por fragmentos de la caja, cuarzo y sulfuros complejos, con menas proporcionadas por un magma diorítico. Sólo cuidadoso estudio metalogénico, que consideramos de gran utilidad, podría dar idea de las posibles fases de la mineralización y de las edades de grietas y rellenos, con relación el metamorfismo regional, anterior a la intrusión de las rocas verdes.

Después de haber encontrado, en el año 49, afloramientos de vetas y filones, el día 12 de enero de este año se descubrió la masa filoniana de mayor riqueza.

Las vetas y filones aparecen casi verticales, en la forma que se representa en el esquema y corte geológicos, con potencias variables entre 0,80 y 1,50 metros. El cuarzo, de estructura maciza, vítreo y de color obscuro, contiene oro libre y es rico en sulfuros.

La masa filoniana, con 4 metros de potencia máxima, es muy irregular, forma lentejones y está constituída por materiales heterogéneos, que pueden agruparse en cuarzo, cuarcitas, óxidos y sulfuros, tal como se presenta en la zona de alteración donde estamos trabajando. El conjunto aparece con la rubefacción característica de los óxidos de hierro y, en esta zona de alteración, la roca es de dureza media y mineralización concrecionada.

La riqueza es muy variable, dentro de la propia masa. Existe, en la parte descubierta hasta hoy, una bonanza con riqueza media de 60 gramos de oro en tonelada, en 25 muestras analizadas. La hematites parda, que procede de la descomposición de los sulfuros, ha dejado en libertad el oro que éstos contenían y que fué a depositarse en el cuarzo cavernoso; lo que explica que las muestras en las que domina la hematites parda dan 6 grs./ton. de oro y 9 de plata, mientras que, en las que domina el cuarzo, se ha llegado a 418 grs./tn. de oro y 94 de plata. El oro libre es muy abundante en esta zona de alteración. Basta machacar cualquier piedra para que aparezcan incontables pajuelas de oro fino al lavar en batea.

Hemos llegado a 15 m. de profundidad y desconocemos el nivel hidrostático, que debe ser profundo, dadas las características de la región.

En conjunto, el plan de trabajos actuales consiste en el levantamiento de planos topográficos, geológicos y petrográficos; labores de reconocimientos mineros de cuarcitas y rellenos filonianos, y demuestres sistemáticos y análisis de las muestras por el sistema de cloruración y precipitación con sal ferrosa, en el laboratorio que hemos montado con horno de reducción. Las rocas demuestradas contienen oro, plata, hierro, plomo, cobre, cinc y arsénico.

La formación filoniana tiene por hastial del muro cuarcitas blancas (seguramente por haber perdido gran parte de los sulfuros en reacciones químicas con el relleno), y por techo, las pizarras. Está bien definida la salbanda del muro, mientras que el contacto de la masa con las pizarras se halla mal delimitado. Las pizarras y filitas contienen sericita y se presentan con colores abigarrados, en lo que influyen bastante los nódulos negruzcos de la roca verde intrusiva que encierran. Puede apreciarse con bastante claridad la aureola metamórfica.

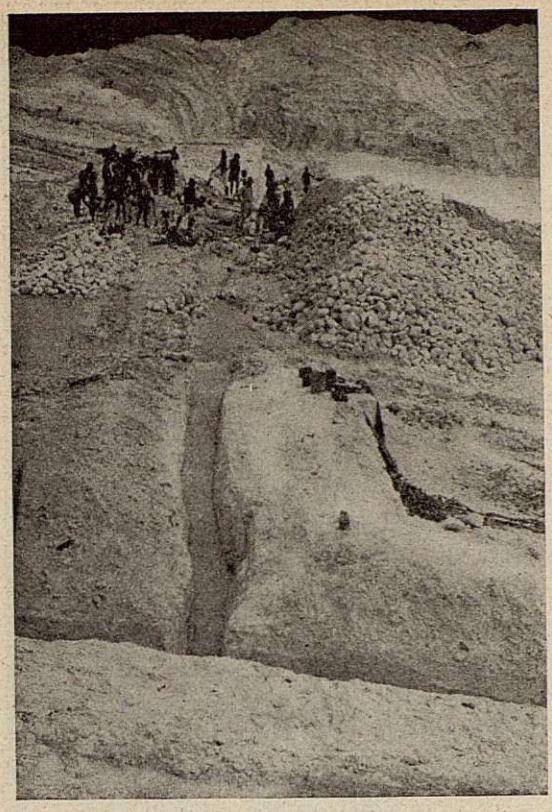
"Chombo" Corte geológico N-S. por la línea A-B

Hay oro en las cuarcitas de la caja (6 grs./tn. a 4 m. de la salbanda) y también en las pizarras, con riqueza decreciente al alejarse de la masa hasta un cierto punto, a partir del cual vuelve a aumentar, en las proximidades de cualquiera de las vetas de cuarzo aurífero en contacto con las rocas verdes, donde se hacen más cristalinas las pizarras.

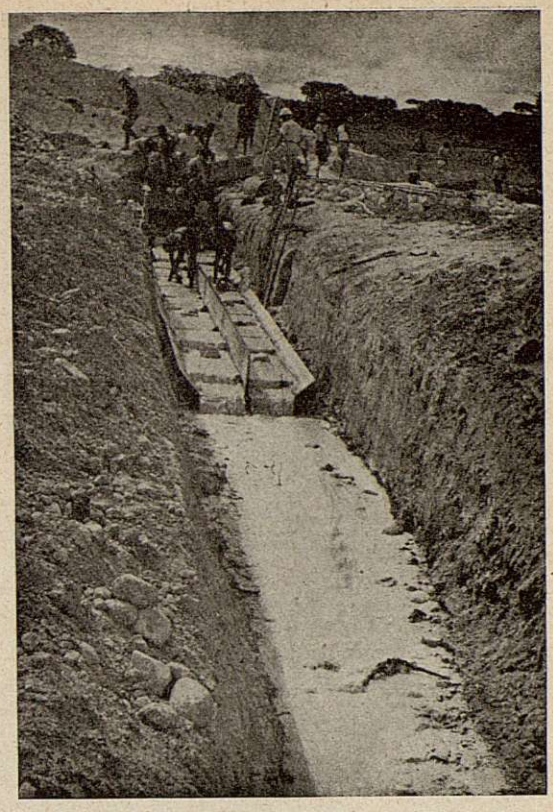
En los trabajos de reconocimiento de la montera, abrimos con tractores los primeros 4 ó 5 m. de profundidad, lo que puede conseguirse en un día de trabajo, utilizando el «ripper» para partir las costras duras de laterita que luego arrastra el «bulldozer».

Como el relleno suele ser más blando que la cuar-

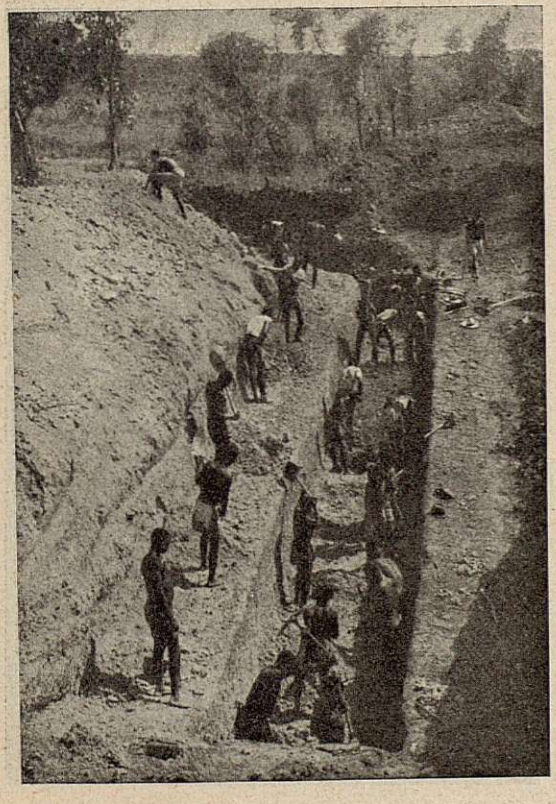
FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



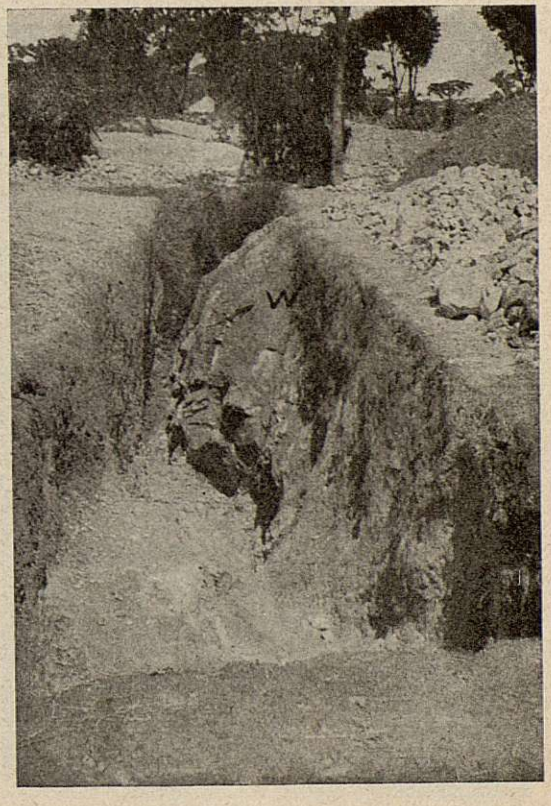
Grava preparada para ser lavada



Lavado de grava en *sluice*

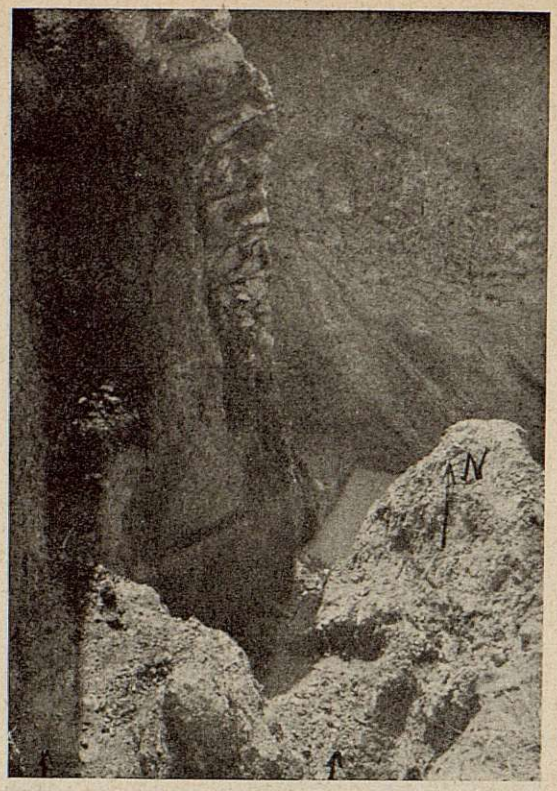


Trinchera de reconocimiento en cuarcitas

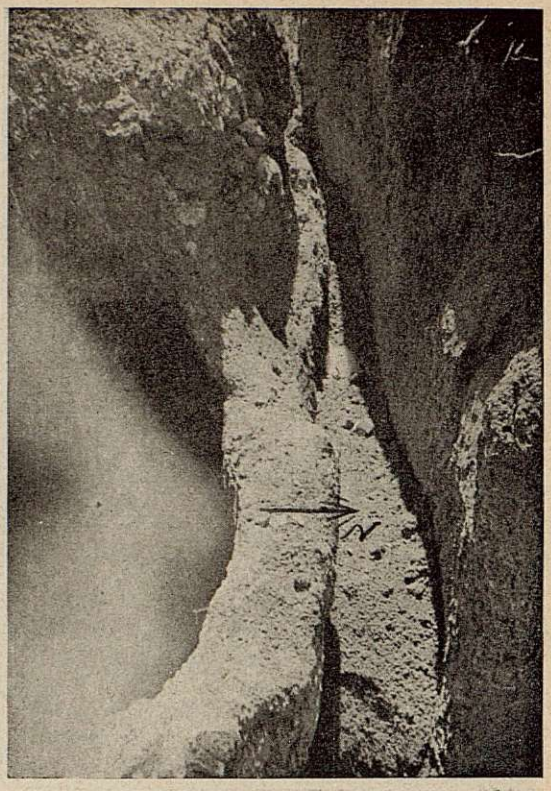


Hastial de cuarcitas *muro*

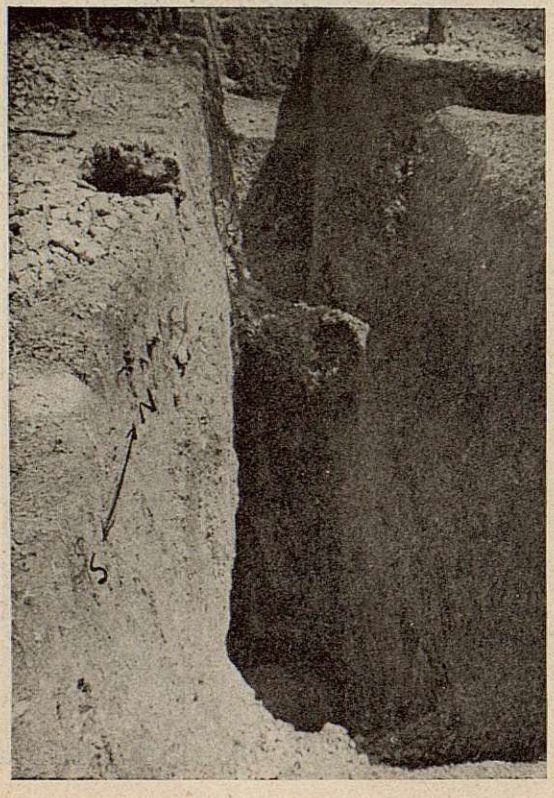
FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



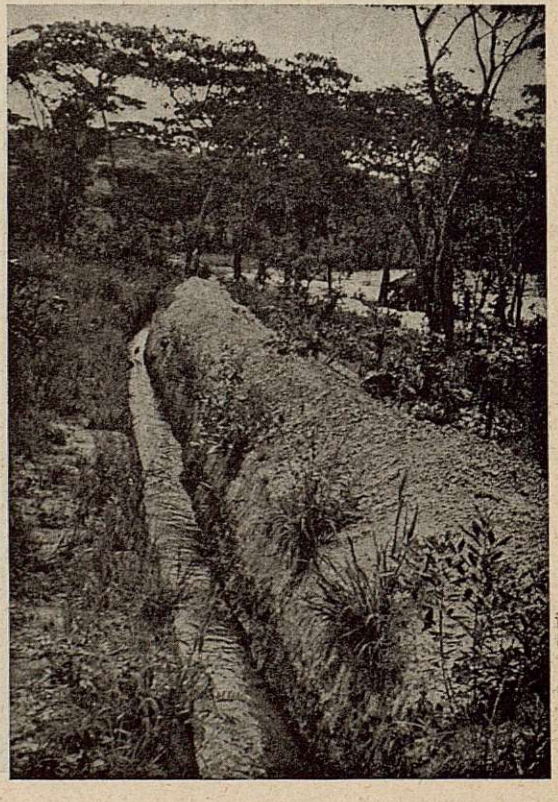
Masa filoniana aurífera y rocas de la caja



Otro aspecto de la masa filoniana aurífera

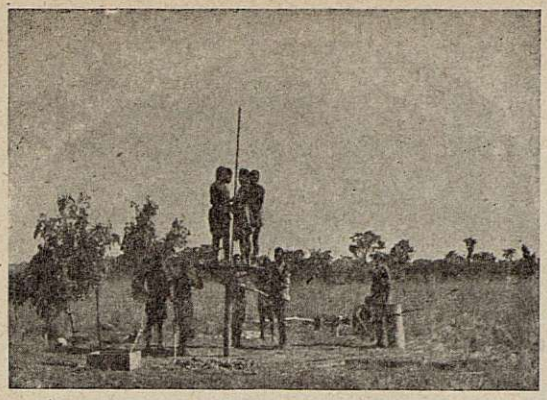


Filón de cuarzo aurífero

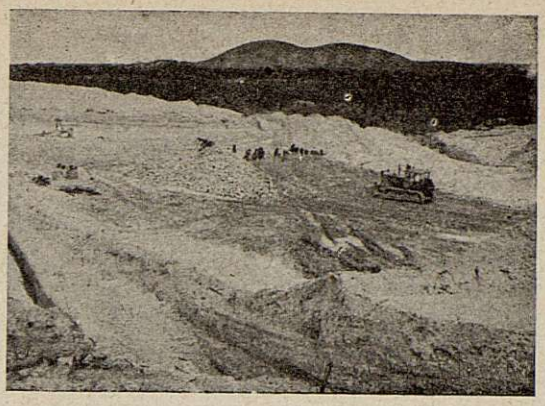


Un canal de conducción en *Chiriva*

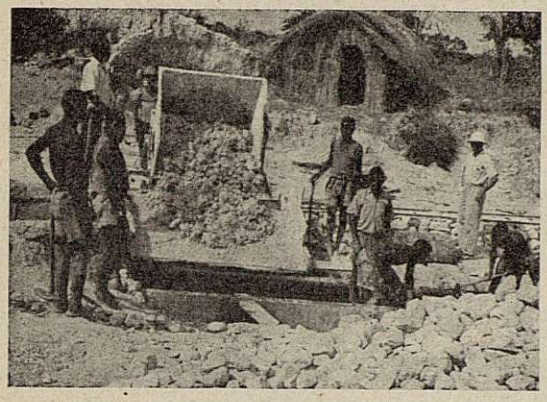
FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



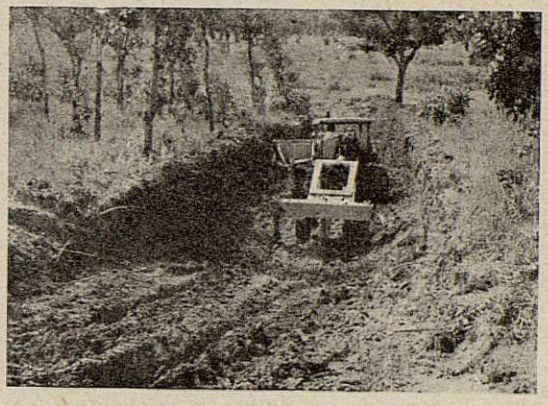
Sonda *Banka* de prospección



Aluvión trabajando con tractor *Caterpilar D 8*



Carga de grava en la cabeza del *sluice*



Tractor *Caterpilar D 8* comenzando una trinchera en cuarcitas

cita de la caja, se descompone superficialmente y el estrato inclinado de cuarcita se vuelca sobre el filón, tapándolo hasta varios metros de profundidad, lo que hace imposible el afloramiento y obliga a penetrar con la investigación a través del derrubio de la caja.

El plan de ataque, en un próximo futuro, para la investigación de esta interesante región aurífera, consistirá en el tratamiento de 30 toneladas diarias de material aurífero, en una planta-piloto, mientras se continúan los trabajos de prospección.

Minas de «Chiriva», abril 1950.

Se continúa con la lectura del resumen del núm. 251 siguiente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

N.º 251. - Los criaderos de cinabrio arsenical en Asturias

Autor: D. IGNACIO PATAC PÉREZ
Ingeniero de Minas y Geólogo

DATOS SOBRE LOS YACIMIENTOS, LABOREO, PRODUCCIÓN Y BENEFICIO DE LOS MISMOS

En la cuenca hullera central de Asturias existe una fractura, de unos 30 kilómetros de longitud, que corta los estratos de la zona inferior westfaliense, al nivel de la pudinga hullera, aproximadamente.

Esta fractura se halla rellena muy irregularmente por materiales pétreos procedentes de las rocas carboníferas y por masas mixtas, complejas y emborrascadas de areniscas, calizas, cuarcitas, pudingas, pizarras y carbón, que en algunas regiones se hallan acompañadas de mineral de cinabrio y de sulfuros de arsénico, rejalgar y oropimente.

Esta fractura, más o menos mineralizada, es vertical, y corta muy oblicuamente a los estratos hulleros, tanto, que en algunos sitios parece concordante con ellos; su dirección de NE. a SO. es sensiblemente rectilínea, y partiendo del O. de Castiello, en Lena, pasa por Muñón Cimero, montes de Cenera, La Peña, y termina en Villa, del concejo de Langreo. La sección de dicha fractura es muy irregular, pues varía entre algunos centímetros y 100 metros.

Su profundidad sólo ha sido reconocido hasta unos 270 metros, y todo hace suponer que es mucho mayor, pues a este nivel no se ha observado ningún indicio de su terminación.

Los estratos hulleros atravesados por esta fractura no presentan alteración, lo que prueba el origen hidrotermal del relleno. Tal vez fenómenos de sublimación hayan acercado a la superficie el cinabrio y el arsénico, pero luego la acción de las aguas termales ha transportado y distribuído estos productos en la grieta preexistente. Es probable que esta mineralización haya ocurrido en los tiempos pérmicos.

En estos criaderos rara vez se presenta el mercurio en estado nativo, sino, casi siempre, en estado de sulfuro, de aspecto térreo, o compacto y brillante, cuando se presenta salpicado el cinabrio de pequeños cristales de un color rojo carmín, como en Mieres y en Lena, y aunque otras veces se presenta de color gris, su raya es siempre roja. Algunas veces se encuentra también el cinabrio en cantos rodados, principalmente, en el valle de Mieres, producto del trabajo de las aguas. Existen las siguientes variedades de cinabrio: *Hepático, cristalizado,* de color rojo obscuro, con gan-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ga de pizarra hullera. Pola de Lena. *Hepático compacto*, generalmente acompañado de *rejalgar* (sulfuro de arsénico $As_2 S_2$), de estructura compacta; también se encuentra en Lena.

Cinabrio piritoso: Es muy corriente que el cinabrio asturiano vaya acompañado de una pirita arsenical que lo perjudica bastante en su tratamiento metalúrgico. La unión del cinabrio con la pirita arsenical es tan íntima que probablemente sea de naturaleza específica. Además de esta combinación química del cinabrio con sales de arsénico, suele acompañar a este mineral el sulfuro de arsénico, rojo, o *rejalgar*, por ejemplo, en Muñón Cimero, del concejo de Lena, y en Maramuñiz y Brañallanova.

Existe también una arenisca fuertemente impregnada de cinabrio que ha sido explotada en la Peña, término de Mieres. Unas veces se presenta el cinabrio entre las pizarras negras o entre las calizas fétidas del tramo inferior a la pudinga hullera, y otras veces en esta misma pudinga.

La proporción de arsénico de estos cinabrios asturianos es tal, que la acción de las aguas ha infiltrado las sales arsenicales, en algunas capas de carbón, hecho observado ya por D. Adriano Paillette y don Amalio Maestre, en ciertos carbones del alto de Colombiello, en Lena y en Muñón Cimero.

Los criaderos son muy irregulares, no sólo en lo que respecta a su modo de yacer, sino en lo que se refiere a la riqueza o ley del mineral, pues, unas veces, ofrecen un cinabrio casi puro, y otras, solamente impregnaciones en las rocas. Fueron conocidos de los hombres primitivos, pues en Mieres se han encontrado en partes removidas de los criaderos piedras pulimentadas y otras herramientas de la época neolítica. Sin duda explotaron el *bermellón*, que, por su color rojo encendido, sería utilizado por ellos, mezclado con grasas animales, para sus pinturas rupestres.

Los antiguos historiadores, al hablar de Asturias, dicen que es *fértil en bermellón*, y los romanos explotaron también en parte estos criaderos de cinabrio, pues se han encontrado en ellos monedas de aquella época. No obstante, se desconocen sus trabajos, tanto en lo que se refiere a las labores mineras como a su beneficio metalúrgico.

Las primeras noticias de la explotación del cinabrio asturiano datan del año 1838, en el que algunos individuos de los concejos de Mieres y de Lena principiaron el beneficio del azogue, destilando el cinabrio en vasijas de barro ordinario y en cañones de fusil; generalmente empleaban en esta operación los cantos rodados de cinabrio, de elevada ley, que se encontraban en los valles, pero las emanaciones arsenicales y mercurinas les producían crueles sufrimientos. Poco después se formaron tres empresas, la *Anglo-Asturiana* (más tarde *Hullera y Metalúrgica de Asturias*), la *Unión Asturiana*, constituída en 1844, y *El Porvenir*, en 1847, que dieron principio a la explotación del cinabrio; la primera de estas Sociedades en Lena, y las otras dos en Mieres.

La Compañía Anglo-Asturiana adquirió en Muñón Cimero, de Lena, varios criaderos, el más importante de los cuales era el de la mina «Eugenia».

Este criadero arma en los bancos de caliza negra fétida, inferiores a la pudinga, y de él partía una grieta casi perpendicular a su dirección, rellena de cantos rodados de cinabrio, con hidróxidos de hierro. El cinabrio era de estructura cristalina, muy duro y de color rojo obscuro, achocolatado, con *rejalgar* y oropimente ($As_2 S_3$) interpuestos, mecánicamente. Por tratamiento a mano, con martillo, podía separarse hasta un 80 % del sulfuro de arsénico. No obstante, la elevada proporción de arsénico oponía serios obstáculos para el tratamiento metalúrgico del cinabrio.

Don Casiano de Prado, en un artículo titulado «Del criadero de Azogue de la Flecha, mina de la Sociedad del Porvenir, en el concejo de Mieres, y del beneficio de sus minerales», publicado en el tomo VI de la *Revista Minera*, 1853, da cuenta de su fracaso en el tratamiento metalúrgico de este mineral, en los siguientes términos: «Grande fué mi asombro cuando al abrir las cámaras y conductos, concluída la operación, me hallé con dos o tres pulgadas de arsénico blanco en polvo impalpable que cubría su suelo, y en medio del cual resultaba trabado gran parte del azogue obtenido... Yo sabía bien que resultaría alguno, pero jamás me pude imaginar que fuese en tanta cantidad, pues seguramente llegaba al 4 ó 5 % del total del mineral puesto a destilación... Fuera de Asturias

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

no tengo noticia de un hecho igual, no siendo en el Perú, de que habla Mr. Gronuier en el tomo II de la quinta serie de los Anales de Minas de Francia. Los operarios ocupados en el servicio del horno se han visto atacados por esta terrible substancia, y alguno estuvo a punto de perecer. Yo mismo tuve que trasladarme por dos veces a Oviedo para curarme, pues el rostro se me había cubierto de unas llagas particulares en las que sentía un ardor insoportable.»

Después de muchas vicisitudes se lograron vencer las dificultades que ofrecían el laboreo y la metalurgia de estos minerales, y, hacia el año 1880, había dos empresas que explotaban el mercurio arsenical de Asturias, una la «Unión Asturiana», y otra «El Porvenir de Asturias», en la Peña y en el Tarronal. La primera, producía de 4.000 a 4.500 quintales de cinabrio, y en los nueve meses de la campaña 966 frascos de 75 libras de peso cada uno; los frascos eran de hierro, y la venta del mercurio estaba contratada con una casa de Barcelona que lo pagaba a 40 pesos el quintal. El beneficio se hacía en cuatro hornos de siete cámaras cada uno, que funcionaban juntos durante nueve meses. Las instalaciones se hallaban en la Peña.

La otra Sociedad, «El Porvenir de Asturias», tenía sus instalaciones de beneficio próximas al lugar conocido con el nombre del «Tarronal», en la orilla derecha del arroyo Miñera, en el valle de Mieres. Aquí se presenta el criadero impregnando las pizarras y areniscas del hullero que aparecen teñidas de negro u obscuras; estas últimas más impregnadas de cinabrio. Al principio sólo aparecían manchas de cinabrio, pero a la profundidad de unos 50 metros, el criadero se ensanchó y ofreció el mineral de buena ley, casi puro, aunque, como ya se ha dicho, no presenta gran regularidad.

A continuación se reproduce un curioso cuadro estadístico de los minerales tratados en los años 1869 a 1876, que publica D. Máximo Fuertes Acevedo en su «Mineralogía Asturiana», de la cual están tomados muchos de estos datos:

Cantidades en quintales métricos de mineral destilado y metal obtenido y precio de éste al pie de fábrica

Años	Unión Asturiana		El Porvenir		Precio en reales del quintal métrico
	Mineral destilado	Azogue obtenido	Mineral destilado	Azogue obtenido	
1869.....	36.000	225	45.000	138	1.380
1870.....	39.000	230	25.102	136	2.000
1871.....	31.580	232	22.071	105	2.168
1872.....	34.157	308	24.000	93	3.350
1873.....	34.000	275	21.508	122	4.629
1874.....	37.327	294	28.329	106	3.472
1875.....	36.375	247	33.266	125	5.208
1876.....	37.168	335			

Los cinabrios de Muñón Cimero, de Lena, son los que contienen mayor proporción de sales de arsénico, en forma de piritas en combinación química y en la de sulfuros de arsénico, independientes, rejalgar y oropimente. Al pasar las minas e instalaciones de la Sociedad Anglo-Asturiana (que fué la que fundó la primitiva fábrica de fundición de Mieres en 1848) a poder de D. Numa Guilhou, que se hizo cargo de ella en 1870, pasaron también a ser de su propiedad las minas de cinabrio arsenical de Lena y una fábrica que para su beneficio había instalado aquella Sociedad en Muñón Cimero. El ingeniero director de la nueva Sociedad, Sr. Van Straalen, logró vencer las dificultades que ofrecía la metalurgia de estos minerales arsenicales, y consiguió productos de buena calidad. En 1880 se producían en esta fábrica 50 toneladas de oropimente y 150 frascos de mercurio al año.

En el año 1915, se beneficiaban en las tres fábricas que había en Asturias 16.161 toneladas de cinabrio, que producían 480 quintales métricos de mercurio.

Como se ve, comparando los datos estadísticos del cuadro anterior con estos últimos, el rendimiento del mineral había sufrido importante descenso.

En resumen, la explotación industrial de estos minerales comenzó en la primera mitad del siglo XIX y se mantuvo hasta los primeros años del siglo actual.

Tenemos entendido que desde hace poco tiempo se efectúan algunos nuevos trabajos de reconocimiento, y sería interesante que tuvieran la fortuna de descubrir en estos criaderos nuevas zonas de bonanza, capaces de crear una explotación importante y lucrativa.

Y a continuación se lee la comunicación que sigue, núm. 258.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

N.º 258. - La economía del estaño y del wolfram en España. Contribución estadístico-económica de su pasado, presente y posibilidades futuras

Autor: D. FRANCISCO TORRAS SERRATACÓ
Ingeniero Industrial

RESUMEN

En el año 1930 la producción de minerales no férreos en España alcanzó la cifra de 96.633.00 pesetas. Esta producción ha ido disminuyendo constantemente hasta la fecha, y hubiese llegado a nivel más bajo del alcanzado, de no haberse producido, compensando el descenso de nuestros minerales clásicos, el nacimiento de las nuevas explotaciones de estaño y wolfram en estos últimos años, como puede verse en el siguiente cuadro, en el que se ha valorado la producción en pesetas del año 1940 para tomar la misma unidad monetaria y hacer así comparables las cifras de los distintos años.

El estaño y el wolfram, que representaban el 0,84 % de nuestra riqueza minera no férrea, han pasado a representar el 27,8 %, ocupando el segundo lugar entre todas estas menas.

AÑO	Valor de la producción de minerales no férreos en pesetas del año 1940		
	Producción total	Estaño y wolfram	Resto minerales (Pb. Zn. Hg. Mn. Cu., Au.)
1930	166.682.000	1.365.000	159.317.000
Promedio 1940-1944... ...	121.774.000	35.213.000	86.561.000
Promedio 1945-1948... ...	90.180.000	25.167.000	65.013.000

Se hace preciso poner a contribución todos los medios posibles para el incremento de los distintos minerales de esta rama de la economía como parte del programa de aumento de la riqueza patria, riqueza cuyo aumento es el único medio «cierto» de elevar el nivel de vida de los españoles.

Del estudio de la economía mundial del estaño y del wolfram se deduce que los veinte últimos años se han producido cambios en su estructura, que determinan circunstancias favorables para un creciente des-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

arrollo de su producción en España. Analizados al mismo tiempo de acuerdo con la experiencia del último decenio, las características de nuestra muy poco conocida y menos estudiada riqueza estaño-wolframífera, se obtienen conclusiones altamente alentadoras respecto al futuro de esta producción, que podría llegar a triplicarse en un programa quinquenal y alcanzar la cifra anual de 1.500 a 2.000 toneladas de estaño y 2.000 toneladas de wolfram, con un valor de 3.000.000 y 1.100.000 dólares, respectivamente, y que en dicha cuantía beneficiaría nuestra balanza de pagos.

Hecho un examen de la política económica seguida en España hasta la fecha en lo que atañe al desenvolvimiento de nuestros recursos minerales y estudiada la seguida en otros países de gran producción minera como Estados Unidos, Canadá, Australia, Rusia, etc., se concluyen las medidas que se estiman necesarias para el renacimiento de la minería clásica en España y para el desarrollo de la nueva minería estaño-wolframífera, y que se pueden condensar en las siguientes

CONCLUSIONES

1.ª Es absolutamente preciso desarrollar una política «a largo plazo» para el desenvolvimiento de la minería no metálica, por tanto, la estaño-wolframífera.

2.ª Dentro de esta política «a largo plazo» debe establecerse un período inmediato de 5 años de actuación intensiva para alcanzar el nivel mínimo de producción que se considera como meta factible desde el punto de vista de las posibilidades nacionales, cifras que se pueden concretar en las siguientes:

Producción anual de 1.500 a 2.000 ton. de estaño contenido en el mineral y de 2.000 ton. de concentrados de wolfram. El valor de estas producciones a los precios medios internacionales sería de 2.600.000 a 3.500.000 dólares para el estaño, y 1.500.000 dólares para el wolfram, es decir, en total, de 4 a 5 millones de dólares.

Dado el alto nivel económico de inversión en las explotaciones mineras, se estima necesario arbitrar «facilidades económicas» y «alicientes financieros» a las empresas para la obtención del capital necesario mediante las oportunas medidas que resumimos como sigue:

a) *Facilidades y alicientes económicos*:

1.º Fijación de precio mínimo para el estaño de producción nacional durante un período de 5 años.

2.º Teniendo en cuenta que aunque la zona en donde actualmente se considera reside nuestra riqueza minero-wolframífera ha de ser en el futuro la de mayores disponibilidades eléctricas, actualmente carece casi en absoluto de las redes de transporte secundarias que puedan atender la electrificación de las minas, y ello crea una dificultad de la mayor importancia para el desarrollo de las explotaciones, que en la mayoría de los casos se sale de las posibilidades de las empresas privadas, es preciso subvencionar en un alto porcentaje el importe del tendido eléctrico necesario para dotar de energía a las minas. De ello se derivarían grandes ventajas, además, para la economía de las zonas a través de las cuales se realizase el tendido.

3.º Subvención estatal a las labores que precisen acometer las minas agrupadas en cotos para la captación de las aguas necesarias para la preparación mecánica del mineral.

4.º Subvención estatal a las empresas privadas para la ejecución de labores de investigación.

5.º Reserva de un 10 % como mínimo de las divisas que se obtengan en la exportación de mineral de wolfram, para la adquisición por parte de las empresas privadas de los elementos y máquinas modernas que precisan, tanto para la explotación como para realizar investigaciones.

b) *Medidas fiscales de carácter permanente*:

a) Exención del Impuesto de Utilidades a las empresas mineras durante los tres primeros años de su explotación.

b) Exención de impuestos sobre los beneficios no distribuídos a los accionistas.

c) Exención de impuestos sobre el primer 20 % de los dividendos pagados a los accionistas.

d) Autorización para efectuar una amortización de las reservas de mineral hasta un importe del 15 % del valor anual de la producción.

f) Las pérdidas habidas en los primeros años de actividad de las minas podrán ser amortizadas con

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cargo a los beneficios que se obtengan en años sucesivos, sin limitación de tiempo.

6.º Unificación en un solo Organismo dentro de la Dirección General de Minas, con amplia participación de la técnica y de las empresas privadas, de cuanto concierne al desarrollo de la minería metálica.

7.º Creación del anteriormente citado Organismo, de una Comisión del estaño y del wolfram, en la que se unificase todo lo que afecta a esta minería, y con el objeto, además, de realizar el estudio de nuestra riqueza estaño-wolframífera y de las posibilidades y medios de promover su ordenado y más racional desarrollo, en beneficio del interés nacional.

La Comisión del estaño y del wolfram cumpliría los siguientes objetos:

a) Reunir la más completa información técnica de todas las referencias sobre los criaderos conocidos y minas abandonadas, como base inicial al desarrollo de su estudio.

b) Realizar los estudios geológicos previos que sean necesarios de las zonas mineras conocidas y de aquéllas en que se sospecha la existencia de depósitos para la aplicación de las conclusiones geológicas, al objeto de establecer los debidos planes de exploración.

c) Realizar en última etapa los trabajos de prospección y exploración de diversa índole, como prospección geofísica, sondeos, toma de muestras, etcétera, etc.

d) Estudiar el proceso de concentración de minerales de las actuales instalaciones, más o menos mecanizadas, para mejorar sus rendimientos, y estudiar también un tipo de pequeña planta de concentración que pueda resultar adecuada para las pequeñas explotaciones típicas de nuestra minería actual (que, en conjunto, pueden representar notable aportación a la producción total), y que podría duplicar sus rendimientos, substituyendo sus actuales procesos por otros más racionales. Se considera del mayor interés este punto, especialmente en lo que se refiere al tratamiento de depósitos, tanto eluviales como aluviales, de pequeña importancia individual, pero muy frecuentes.

e) Para la eficacia, en beneficio nacional, de los trabajos de la Comisión del estaño y del wolfram se considera que hay que concebirla como órgano de vida permanente y no circunstancial, ya que una investigación de nuestra riqueza tiene que ser un proceso continuo sujeto a comprobación de tiempo en tiempo, porque una de las dificultades insuperables de cierto tipo de minería, como es la que nos ocupa, es que el detalle completo acerca de un yacimiento individual se obtiene sólo a medida que la explotación se realiza, y las dificultades pueden continuar hasta que el depósito esté agotado. Las conclusiones deducidas de los datos disponibles acerca de trabajos individuales tienen que ser aplicadas, por esta razón, a los distritos mineros, como un todo. Por ello, la Comisión del Estado y del wolfram habría de mantener estrecha colaboración con las empresas privadas.

f) Para la realización de estos planes funcionaría una Caja de Compensación dentro de la Comisión del Estado y del Wolfram, que se nutriría en un principio de un impuesto sobre el estaño importado y de las aportaciones voluntarias del Estado y particulares.

Madrid, mayo de 1950.

Y por último se lee la comunicación siguiente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

N.º 282. - El grafito en la economía española

Autor: D. ULTANO KINDELÁN DUANY
Ingenieros de Minas

El grafito es mineral conocido desde antiguo, aunque su naturaleza no estuviera bien definida, pues se admitía que su untuosidad era debida a su contenido en plomo, viniendo de aquí su denominación de «plombagina».

Hasta la segunda mitad del siglo XVIII no fué demostrado, por Scheele, que el grafito estuviera constituído por carbono cristalizado en el sistema hexagonal, a diferencia del diamante en que aquél cristaliza en el sistema cúbico.

Hasta esta época no comienzan a explotarse industrialmente minas de grafito, y nos cabe la satisfacción de poder consignar que fué España uno de los primeros países que acometieron esta empresa, pues ya en 1749 se iniciaron los trabajos en Sierra Bermeja y se exportaba mineral por la ensenada de Marbella.

Como veremos después, los yacimientos de esta zona, con mineral cristalino de excelente calidad, no están, ni mucho menos, agotados. Por otra parte, al otro lado lado del Estrecho y confrontados con los de la citada sierra, existen formaciones análogas. ¿Por qué España no ha de recuperar su posición y pesar en el mercado internacional de un producto de tan varias e importantes aplicaciones?

Vale la pena de considerar el tema, para lo cual empezaremos por recordar las singulares propiedades de este metaloide, de las que se derivan sus muchas aplicaciones, para las que es insubstituíble en muchos casos.

PROPIEDADES DEL GRAFITO

Las propiedades físicas más importantes son:

1.º Ser el mineral más refractario que se conoce.

2.º Poseer alta conductividad eléctrica, comparable a la de algunos metales.

3.º Su bello color negro, brillante.

4.º Poseer sus cristales un crucero que lo hace escamoso.

5.º Ser extremadamente blando.

En cuanto a sus propiedades químicas, se caracteriza por su resistencia al ataque por los ácidos y álcalis y por su débil combustibilidad; por último, posee un núcleo atómico de masa par y de débil peso que le da gran estabilidad y que aconseja su aplicación como moderador en las reacciones nucleares.

Como, además, hay relativa abundancia de grafito, la que permite escoger aquellos criaderos de explotación

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

económica, puede obtenerse a bajos precios y es susceptible de ser adquirido con destino a buen número de industrias.

El grafito, en realidad, es siempre cristalino, si bien comercialmente se llama amorfo al pulverulento, o sea a aquél que está fomado por cristales poco perceptibles a simple vista. En el curso de este trabajo se adoptará esta denominación, universalmente admitida.

APLICACIONES DEL GRAFITO

Entre las principales señalamos las siguientes:

a) *Moldeo de fundición.*—Una ligera capa de grafito en polvo evita que la arena de los moldes, más o menos fundida, se pegue al metal; el grafito se coloca entre las superficies de ambos y, aunque se adhiera a la pieza, su carácter refractario motiva que lo haga sin fundirse y, por lo tanto, sin aglomerarse y aquélla se limpia fácilmente. En el moldeo en verde se espolvorea el molde con grafito, y si aquél se hace en la estufa, se extiende diluído en agua con una brocha. El grafito que se emplea en esta aplicación no precisa ser puro, salvo raros casos. Basta una ley de 60 a 65 % de grafito, para que sea apto a dicho fin.

b) *Fabricación de crisoles, muflas, soleras de hornos, buzas, toberas y otros productos refractarios.*—En la fabricación de crisoles se precisa grafito cristalizado, pues como hay que ligarlo con cierta cantidad de arcilla refractaria para darle plasticidad, se requiere, para mayor solidez, que aquél se presente en escamas; el tamaño más conveniente de éstas es de 20 a 50 mallas. La ley en grafito no debe bajar de 80 %.

c) *Aplicaciones eléctricas.*—Su conductibilidad y sus propiedades refractarias lo hacen apto para la construcción de carbones eléctricos; sin embargo, le ha hecho seria competencia la introducción del grafito artificial, que se usa universalmente para la confección de electrodos, sin contar con que éstos son, a su vez, substituídos en muchos casos por las pastas que se emplean en los hornos eléctricos. Unicamente cabe emplear el grafito en la solera de estos hornos cuando ha de ser conductora. En galvanoplastia se emplea para recubrir la superficie de los moldes de cera o de escayola e iniciar la conductibilidad de éstos.

Más importancia tiene la aplicación en las pilas eléctricas secas, para mezclarlo y dar conductibilidad al bióxido de manganeso que se utiliza como despolarizante en el polo positivo de aquéllas.

Lápices.—Desde el siglo XVI se emplea para la escritura el grafito (de aquí su nombre), cortado en barritas de los bloques. A fines del siglo XVIII empezó a usarse el sistema actual, que consiste en preparar una pasta con grafito y algo de arcilla, en cantidad variable, según la dureza que se requiera y protegiendo la mina con madera.

d) *Pintura.*—El grafito puro no es aplicable para pinturas, ya que tiende a coagularse, formando grumos; en cambio, los impuros se prestan bien; en particular si contienen sílice, se aplica con buen éxito mezclado con óxido de hierro o de cinc, para fabricar pinturas protectoras de toda clase de construcciones de hierro, que tengan que sufrir la intemperie.

e) *Lubricantes.*—El grafito se emplea por sí solo como lubricante, pues se adhiere a las superficies metálicas llenando los poros y formando un barniz que reduce considerablemente el coeficiente de rozamiento; permite un mayor calentamiento y sirve de anticorrosivo; es preferible el grafito cristalino y ha de ser puro. También se emplea mezclado con grasas y sebos para darles consistencia, y en la preparación de lubricantes líquidos mezclado íntimamente al aceite en forma coloidal; la preparación del grafito coloidal se realiza por catoforesis, aplicando a una suspensión acuosa de grafito finamente pulverizado un potencial que obliga a la ganga no conductora, que se carga negativamente, a desplazarse hacia el cátodo, separándose así del grafito que queda en estado de gran pureza.

f) *Aplicaciones varias.* — Desincrustante, amiantos grafitados, gomas, recubrimientos impermeabilizantes de los granos de pólvora.

g) En operaciones de desintegración atómica se emplea como elemento moderador en las pilas de Urano.

PRODUCCIÓN MUNDIAL

La cifra de producción mundial de grafito debe aproximarse a las 300.000 toneladas, cantidad reducida si se tienen en cuenta las muchas aplicaciones enumeradas. No obstante, representa un valor económico estimable, pues solamente el grafito cristalino, cuya producción es del orden de 100.000 toneladas, a

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la cotización de 30 centavos por kilo, representa 30 millones de dólares.

El grafito es mineral muy difundido, pues raros son los países donde no se encuentra; no obstante, la mayor parte de los criaderos tienen escasa importancia económica. Así resulta que contados países pasan en el mercado internacional; éstos son: en Europa: Austria y Baviera; en América: Méjico y el Canadá; en Asia: Siberia, Corea y Ceilán, y en África, Madagascar.

Los grafitos cristalinos más estimados son los de Ceilán y de Madagascar, particularmente estos últimos, que permiten construir crisoles que sirven para más de 60 coladas.

GEOLOGÍA DEL GRAFITO

El grafito se encuentra en la Naturaleza, tanto en rocas ígneas como en sedimentarias metamórficas. El que se presenta en estas últimas es el de mayor importancia, y aparece comúnmente en las pizarras, gneis y calizas metamórficas. En los gneis y pizarras se suele presentar en forma laminar, paralelamente a la foliación y diseminado en la roca como lo hace la mica en el granito; no obstante, en determinados lugares se presenta el grafito en venas y masas que dan valor industrial al criadero. Por el contrario, cuando se presenta en caliza, no suele seguir la orientación de los estratos, aunque conserve la forma laminar.

En las pegmatitas, granitos y rocas ígneas aparece siempre en forma irregular. Finalmente, el grafito se muestra, a veces, formando lechos semejantes a capas de carbón e incluso alternando con éstas.

ORIGEN DEL GRAFITO

Es difícil precisarlo, salvo en el último caso señalado, en el que el grafito muestra claramente ser producto de alteración de depósitos carboníferos que han perdido sus materias volátiles por la intrusión de rocas ígneas o por el calor desarrollado en los plegamientos tectónicos.

Algunos admiten la existencia en las rocas ígneas de hidrocarburos y compuestos oxigenados gaseosos de carbono, de los que se origina el depósito de éste en forma de grafito. Cabe igualmente admitir en las rocas metamórficas la existencia de restos vegetales o animales, de los cuales se derivó el carbón, que se concentró posteriormente.

En resumen, el tema está todavía en período de discusión, por lo que debemos abstenernos de insistir sobre él.

En todo caso, el grafito se presenta siempre con impurezas, silicatos de cal, alúmina y magnesia, cuarzo, feldespato, caliza, pirita y óxido de titano; estas dos últimas impurezas hacen desmerecer al grafito, al reducir sus propiedades refractarias.

CRIADEROS DE GRAFITO EN ESPAÑA

Se encuentra el grafito en varias provincias españolas; concretamente, en Coruña, Pontevedra, Orense, León, Santander, Navarra, Salamanca, Palencia, Segovia, Ávila, Toledo, Sevilla, Huelva, Málaga, Granada, Almería y Córdoba, y también en el Protectorado de Marruecos.

En la mayor parte de los casos carecen de importancia estos criaderos, por estar el grafito muy diseminado en la masa granítica, de gneis o de pizarras metamórficas. En otros casos, como ocurre en la provincia de Pontevedra y en algunas zonas de la de Málaga, se presenta el grafito con ley superior al 20 %, pero como las plombaginas no tienen valor comercial cuando la ley baja del 60 % y aquél se encuentra en grado extremo de división, no puede concretarse sin someterlo a un grado de molienda imposible de lograr industrialmente.

Prescindiendo, de momento, de los criaderos de Sierra Bermeja y de Marruecos, que se estudiarán después con detenimiento, nos limitaremos a citar las formaciones de la provincia de Huelva, que explotó seriamente entre los años 1926 y 1929 la Sociedad Española de Grafitos Refinados, la que montó un lavadero de flotación, con el que llegaron a obtenerse algunas toneladas de concentrados de más del 80 %. Desgraciadamente, las condiciones económicas de la explotación no permitieron la concurrencia con otros grafitos en el mercado internacional; base sobre la que estaba planteado el negocio.

Mejor éxito se obtuvo y se sigue obteniendo en las minas explotadas después de la guerra civil por la Co-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mercial Química Matalúrgica, S. A., en la provincia de Toledo; primero, en la mina «La Española», del término de Puebla de Montalbán, y, posteriormente, en el Coto Minero de Guadamur. Ambos criaderos, de origen eruptivo, arman en granito y están formados por mantos de variable potencia, en los que predomina el gneis, con abundantes intercalaciones de caolín, que muestran indudable relación entre la formación del caolín y la del grafito. Su ley media es de 6 %, si bien localmente aparecen concentraciones bastante elevadas.

Merecer el mayor elogio los gestores de esta empresa, al vencer los problemas técnicos que la explotación planteaba, y al luchar contra las dificultades de la época, en cuanto al abastecimiento de materiales, adquisición de maquinaria y restricciones de energía. Con loable perseverancia han vencido todas estas circunstancias adversas, y obtienen, con los minerales de baja ley, concentrados comerciales de 65 %, y son capaces de abastecer al mercado nacional de este tipo de plombagina. Tienen en estudio la producción de los de alta ley, aunque es dudoso que puedan obtenerlos en condiciones económicas.

FACTORÍA DE GRAFITO EN EL ESTRECHO

Expuestos estos antecedentes, pasemos a estudiar la posibilidad de explotar en el Sur de España un taller de preparación de grafito que sirva, en primer lugar, como complemento a la industria nacional; esto es, en la producción de las calidades de alto contenido en grafito y principalmente con vistas a la exportación; asunto de vital interés, ya que el comercio internacional del grafito alcanza, como hemos dicho, una cifra del orden de 30 millones de dólares, una parte de los cuales podrían derivarse hacia nuestro país.

LAVADERO DE GRAFITO EN ESTEPONA

El Consejo Ordenador de Minerales Especiales de Interés Militar construyó un taller de flotación de minerales de grafito, inmediato al puerto de Estepona (Málaga); dicho taller, que está completamente terminado y provisto de abastecimiento abundante de agua, no ha funcionado por diversas circunstancias, pero se encuentra en disposición de hacerlo cuando se juzgue oportuno.

El emplazamiento se eligió precisamente en Estepona, por exigir la proximidad al mar para la económica recepción del mineral bruto en África. Además, es aquél el puerto más próximo a los criaderos de Sierra Bermeja. Los productos concentrados se embarcarían allí fácilmente, sobre todo, cuando se ejecute un proyecto, ya aprobado, de espigón, que arranca del mismo lavadero a un nivel más bajo.

La instalación es capaz para pasar una tonelada por hora, lo que permite, dada la riqueza de los minerales que se van a tratar, una producción de 2.500 toneladas anuales; cantidad suficiente para obtener un coste moderado y al mismo tiempo, no excesiva para su colocación en el mercado, sin perturbar éste. El tiempo dirá si conviene ampliar la instalación.

MINAS DE SIERRA BERMEJA

Según Naranjo, existe una alineación de grafito que se presenta en bolsadas dentro de la peridotita, que corre en una extensión de 12 leguas, y cuyos afloramientos se señalan en Chapas, Ojén, Estepona, Quistán, Jubrique, Alora y Coín. De todos estos asomos, el más interesante es el de la mina «Marbella», propiedad del Estado, situada en la divisoria de los ríos Guadalmansa y Guadalmedina, a unos 800 metros sobre el mar, cerca del paraje denominado Venta de Natices, y en ella está situado el llamado «casetón de las minas del lápiz». Dista 10 Kms. de Benahavís por vereda; Benahavís dista de Estepona 25 Kms. por carretera. Geológicamente está situada en la gran masa peridótica que forma la Sierra Bermeja y que rompe las pizarras estratocristalinas, siguiendo su eje de dirección S. O. a N. E.

Esta mina fué objeto de intensa explotación en el pasado, y dió origen no sólo a una industria de crisoles en Sevilla, sino a una estimable exportación a Inglaterra. Hace más de 80 años que están paralizadas sus labores, sin que quede más indicios de éstas que las explanaciones de los pozos y socavones y restos de escombreras, apenas perceptibles por estar cubiertas de vegetación. No es posible el acceso a las bolsadas, y poco se puede informar en ellas mientras no se practique labores de reconocimiento. No obstante, el ingeniero señor de La Concha, la podido recoger en

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

las escombreras granzas de grafito, que eran conocidas bajo la denominación de «habas» y mixtos. Analizadas aquéllas, revelaron contenido de 86,20 de grafito, que las acredita como de excelente calidad, la que aún puede mejorarse por flotación elevando su ley y eliminando el hierro y alúmina que contienen.

Mejor idea de la importancia del criadero se obtienen de los datos históricos que han podido recogerse, cuyo extracto cronológico se consigna a continuación:

1749. Empieza a trabajar la mina la familia González de Benahavís, conocidos por los «Moros», y exportan el mineral por Marbella.

1804. El Gobierno encarga un estudio al ingeniero alemán don Enrique Schnelbembnhel, con el objeto de aprovechar el grafito en una fábrica de crisoles instalada en Marbella por don Diego Sancho.

1807. Comienza los trabajos con arreglo a dicho estudio.

1808. Se habilitan las galerías principales de la mina «Honda», se preparan macizos de arranque. Se abre la galería «Nuestra Señora» y el pozo «San Fernando» en el centro del criadero; se construyen almacenes y algunos edificios.

1812 y 1813. Paralizadas las labores por la guerra de la Independencia, vuelven los «Moros» a apoderarse de la mina y, en labores de rapiña, arrancan todo lo preparado en años anteriores.

1828. Después de haber sido explotadas sin ningún orden ni concierto, previo un reconocimiento del terreno, se determinó que sólo se pudiese trabajar en las siguientes cuevas: Honda, Ríos, Pedro González, Rueda, Galán, San José del Cerro, Si Bajas y Cortés.

1830. Cesa la explotación de las minas, bien por mala calidad del grafito exportado, que comenzaba a desacreditarse en los mercados extranjeros, ya por no poder competir, debido a los altos derechos de 31 reales el quintal con que estaban cargados sin distinción de clases.

1832. Se sacan las minas a subasta pública, la cual queda desierta.

1846. Aceptadas las proposiciones por la S. A. Nuestra Señora de Balbanera, se concedió la explotación en las siguientes principales condiciones: 15 años de duración; 10 % de cánones. Durante el primer año deberían limpiar y descargar las labores auxiliares de mina «Honda». En el segundo año las labores de beneficio, y en el cuarto hacer un reconocimiento al Este de 50 varas desde la mayor profundidad de la mina.

1851. Se empiezan los trabajos preparatorios y se extraen en años sucesivos, previo estrío, habas o granzas y mediante molido y cernido, perdigón y polvo de grafito.

1853. Por haber gastado la Sociedad gran parte de su capital, sin resultado positivo, quedan paralizadas las labores.

1857. Informe de Álvarez Linera para valoración de las minas. Estima que, basado en su conocimiento práctico de la localidad y por razones de referencia y analogía, pueden extraerse unos 8.000 quintales anuales.

Para su valoración, establece las siguientes cifras:

	Producción	Coste del quintal	Precio
Grafito de 1.ª	2.000 quintales	30 reales	45 reales
Grafito de 2.ª	4.000 quintales	20 reales	30 reales

Deduciendo los impuestos y capitalizando los beneficios al tipo de 10 %, resultan 555.000 reales, que sumados a los 36.000 en que valora las instalaciones, dan un total de 591.000 reales para el precio de las minas.

1896. Se demarca la mina con una extensión de 279.491,52 Ha.

1897. El ingeniero Jefe del Distrito de Málaga, para hacer una tasación de las minas por Orden de la Dirección General de Propiedades, formula un presupuesto aproximado de 9.133,95 pesetas para limpiar viejas labores y poder efectuar un reconocimiento, sin asegurar el resultado ni el coste exacto, dada la naturaleza del trabajo.

1898. La Dirección general de Propiedades, a la vista del informe, estima no procede hacer dicho gasto, sino aplazar la tasación hasta que las Cortes aprueben el arriendo de la mina e incluir los gastos de la mina en el precio.

1917. Orueta, basándose en la memoria de Linera, de 1857, propone un reconocimiento por bajo del nivel en 70 varas, profundidad máxima de las labores antiguas mediante un socavón de 500 metros de longitud, a cuyo final se abrirían dos galerías en dirección de 180 metros de largo y dos cruceros de 80

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

metros y, además, un pozo de 118 metros. Además, sondeos previos para fijar los puntos de ataque.

El presupuesto era de 510.700 pesetas.

Como se ve, el interés de la Administración por esta mina, a lo largo de los tiempos, ha sido constante, aunque, en general, no se tomaran resoluciones prácticas por el criterio mantenido hasta no hace mucho tiempo de que el Estado dejara a la iniciativa privada los trabajos y riesgos propios de la industria.

Las estadísticas de mineral producido son inciertas, pero seguramente pasará de 15.000 toneladas el extraído.

No es probable que bolsada de esta importancia se haya agotado a tan poca profundidad, y más bien hay que atribuir el abandono de las labores a circunstancias económicas, pues sin duda, al llegar a esta profundidad, debieron encontrarse los antiguos con la necesidad de realizar labores en estéril, pozos y largos sacovones en roca dura, lo que exigía innovaciones que no estaban al alcance de su pobre minería, aparte de la dificultad que entonces representaba el desagüe.

Se plantea, pues, el problema de asegurarse de la continuación de la bolsada mediante sondeos; una vez comprobada, se proyectaría el sistema de acceso al criadero, ya por pozos, que sería lo más rápido, o por socavones si el terreno en que se localizase la bolsada presentase buenos puntos de ataque.

Naturalmente, fuera pura fantasía intentar cubicaciones probables, ni siquiera posibles, mientras no se practiquen labores; pero existe, desde luego, fundamento racional para realizar la investigación.

GRAFITO DE GOMARA

Al otro lado del Estrecho, y casi en el mismo meridiano, se prolonga la masa peridótica que rompe el estrato cristalino y las pizarras silurianas, y que motivó importantes procesos metamórficos que originaron gneis, diabasas, calizas metamórficas y serpentinas, al mismo tiempo que se produjeron notables concentraciones minerales, principalmente grafito y cromitas; estas últimas se presentan en mantos que guardan perfecto paralelismo con corridas extensas que le dan la apariencia de campos filonianos. Se han practicado reconocimientos que permiten augurar importante cubicación de cromita, si bien de escaso interés industrial por su baja ley, que, además, no puede elevarse por ser constitutiva de la especie mineralógica y no debida a impurezas y gangas.

Se cita la existencia de la cromita por el hecho de existir indudable sincronismo entre las formaciones de cromita y de grafito, ya que unos y otros se presentan en los mismos parajes y muy próximos.

Los yacimientos grafíticos se encuentran en la zona de Gomara en la cábila de Beni-Buxera, formando muchos seudofilones que guardan paralismo, encajados en gneis y, a veces, con hastiales de caliza; circunstancia del mayor interés, ya que esta roca sirve de guía para encontrar la mineralización cuando ésta, por afectar forma de rosario, se ha perdido.

Las bolsadas son de características muy variables, pues alcanzan a veces varios metros de potencia, la cual, en otros casos, se limita a 20 centímetros.

Es frecuente contar con mantos de un metro de potencia, que dan rendimiento de una tonelada por jornada de picador.

La calidad del mineral es, en algunos casos, tan buena, que permite embarcarlo para la venta tal y como sale de la mina; como término medio puede admitirse una ley de 40 %. En algunos casos el mineral es inutilizable, como ocurre en la mina «Sarro 2.°», debido, más que a su baja ley, a su fuerte contenido en pirita, difícil de eliminar en la flotación del grafito.

En estas formaciones se han hecho algunas explotaciones en forma rudimentaria y sin entibar, lo que ha producido hundimientos con la consiguiente pérdida de mineral; así y todo se han extraído varios miles de toneladas.

El grafito aparece, en general, en estado cristalino, si bien no presenta grandes escamas. La clasificación es la siguiente:

Primeras de 70 a 80 % de carbono.

Segundas de 40 a 70 %.

Terceras de 20 a 40 %.

Se presentan también bolsadas de grafito de más de 90 % de grafito, con menos de 1,5 % de hierro.

Con las primeras pueden obtenerse concentrados de 93 % con rendimiento de 97 %; con las segundas, con relavado, se llega a ley de 92,5 % con rendimiento de 95 %, y con las terceras, a ley de 88 % y rendimiento de 80 %.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Con una muestra rica de 92 % de carbono, se obtuvieron concentrados de 97 %, que aún puede elevarse por métodos químicos.

Terminamos el estudio de estos yacimientos con una enumeración sucinta de varios de ellos.

CUENCA DEL RÍO JENAN-NICH

«Sarro núm. 1).—Muy explotado; aún conserva mineral entre el que predominan las clases primera y y segunda; a 600 metros sobre el mar y a 6 kilómetros de la playa de embarque.

«Sarro núm. 2.»—A orillas del río; mineral deficiente por contener mucha pirita.

«Dahid».—Frente al «Sarro núm. 2» y en la orilla opuesta. No se ha explotado; hay un afloramiento de unos 20 metros de corrida de magnífica calidad.

Hay otro yacimiento de buena calidad, 2 kilómetros aguas arriba.

Entre los ríos Jena-Nich y Arcot existe otro afloramiento a 1 kilómetro de la playa, que si bien en la superficie contiene óxido de hierro, éste desaparece en profundidad.

CUENCA DEL RÍO MOYAHEDIL

Morabo.—Magnífico afloramiento a 300 metros de la playa, sin explotar.

Eslam núm. 1.—A 1.500 metros de la playa.

Eslam núm. 2.—A 2.000 metros de la playa.

Marlinge.—De esta mina se han extraído 500 toneladas de excelente calidad; es uno de los afloramientos más prometedores.

CUENCA DE TAFART

Existen en esta cuenca las minas «Tafart núm. 1», «núm. 2» y «núm. 3», y «El Calvario», con filones de poca potencia, pero su mineral es excelente, excepto en «Tafart núm. 2», que es sulfuroso.

Debe advertirse que los yacimientos enumerados son sólo una parte de los que deben existir, pues constantemente se descubren otros nuevos.

CONSIDERACIONES FINALES

Contamos, pues, con dos cuencas con posibilidades de producir grafito: la una, en la Península, formando grandes concentraciones de mineral; la otra, próxima a la costa de África, en la que el mineral aparece difundido en muchos filones o mantos; una y otras contienen menas aptas para obtener concentrados cristalinos y de alta ley. La primera tardaría bastante tiempo en dar producción, pero, en cambio, la segunda daría cantidad apreciable en cuanto se comenzaran las labores. Por último, los costes de explotación son reducidos; no aportamos cifras por no alargar esta Memoria.

Equidistante de una y otra cuenca y en puerto de mar, está a punto de funcionar un lavadero estudiado para concentrar sus grafitos; este lavadero es propiedad del Estado.

Está, pues, indicado que se constituya una empresa idónea para explotar estos valores, sea aquella de carácter estatal o privado, pero en este último caso, precisaría eficaz apoyo de los Poderes Públicos para vencer las dificultades de tipo legal, y en particular para imponer el laboreo forzoso a los concesionarios que detentan la riqueza minera de Marruecos.

El Cuerpo Ordenador de Minerales Especiales de Interés Militar se interesó por la producción de grafito y tomó a su cargo este problema, tan pronto fué declarado el grafito de interés militar. Al efecto, construyó el Lavadero de Flotación en Estepona y dió los primeros pasos para realizar algo semejante al plan que queda esbozado. La norma de carácter general que imponía a este Organismo el Decreto-ley de su constitución era la de promover las explotaciones de los minerales sujetos a su jurisdicción, bien por medio de particulares, creando las condiciones económicas necesarias o directamente, procurando que no hubiese pérdida en la explotación, pero sin retraerse cuando convenía al país en el caso en que hubiesen de invertirse cantidades a fondo perdido.

En 1 de enero de 1945, el «Comein» sufrió radical transformación orgánica, pasando a depender del Instituto Nacional de Industria, con lo que su actividad ha tomado el carácter de empresa, por lo que, acaso, no entre en sus normas tomar a su cargo el asunto que se plantea, que envuelve evidentes riesgos y di-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ficultades de orden legal y técnico; no obstante, tuvo el acierto de acordar la terminación del lavadero y su abastecimiento de aguas.

Por otra parte, el grafito no figura hoy entre los declarados de interés militar y no entra, por lo tanto, en las actividades del «Comein». Precisaría, pues, arbitrar los medios para contratar o hacer por gestión directa los trabajos de investigación de las bolsadas de Sierra Bermeja y de los afloramientos de África, o bien subvencionar a una empresa privada para que los realice, a la cual se le prestaría el apoyo oficial para vencer cualquier obstáculo de tipo legal que pudiera presentarse. Tan pronto como se obtuvieran resultados satisfactorios en los reconocimientos, se pondría en marcha el lavadero comenzando por tratar los minerales de África, a los cuales se incorporaría después los de Sierra Bermeja cuando sus minas entren en producción.

Madrid, 22 de mayo de 1950.

Esta comunicación es objeto de algunas objeciones por el Sr. Velarde, manifestándose conforme con la misma el Sr. Aranguren si se demuestra que la explotación que preconiza el Sr. Kindelán, es la más económica.

A continuación da lectura el Secretario del resumen del trabajo núm. 293 siguiente, del que es autor el Sr. Hernández Sampelayo, que no puede asistir a la reunión y excusa su asistencia.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.º 293. - Yacimientos españoles de estaño y wolfram

Autor: D. PRIMITIVO HERNÁNDEZ SAMPELAYO
Ingeniero de Minas

Estas menas pesadas, colocadas en el contacto de los grandes batolitos graníticos con el paleozoico de España y de Portugal, forman una gran zona de Norte a Sur, que comprende Galicia y zonas portuguesas y españolas del Miño, del Duero y del Tajo, hasta la provincia de Huelva, ya afectada de preferencia por las erupciones modernos alpinas, que no ofrecen asomos de estas menas sublimadas, en cortejo con otros minerales, a temperaturas elevadas.

El primer geólogo que reunió y apreció en conjunto estos criaderos fué el eminente e inolvidable director del Instituto Geológico don Rafael Sánchez Lozano, buen conocedor de los aluviones y crestones, quien formuló en el Congreso de Geología de 1910, una nota interesante. Le oímos relatar con detalle las caminatas con recuas que, cargadas de pellejos de vino, regresaban de las asperezas extremeñas a Castilla, cargadas de mineral de estaño y de wolfram. Estas reatas se repitieron durante la guerra europea.

En la región occidental de la Península Ibérica, tanto en España como en Portugal, se encuentran muchos yacimientos de tungsteno, concentrados casi siempre en la periferia de determinados macizos de granulitas, y también encajados en estas rocas hipogénicas.

La región en que están distribuídos los yacimientos de wolfram que nos ocupan, abarca una extensión superficial de unos 700 Kms. de longitud, por 225 de anchura, aproximadamente, o sean, 157.500 Kms^2.

Se encuentran, dentro de España, en las provincias de Córdoba y de Jaén, en Andalucía; Badajoz y Cáceres, en Extremadura; en las de Salamanca y Zamora y en las de Coruña, Orense y Pontevedra, en Galicia. En Portugal están generalmente situadas en el Norte del país, desde la provincia de Beira Baixa hasta la de Minho y Tras-os-Montes.

Los yacimientos más importantes, desde el punto de vista de su mineralización, están formados por fisuras de contracción o grietas entoquinéticas dentro de la granulita, o bien en la zona de contacto de esta roca con pizarras cambrianas y silurianas. La masa granulítica agrietada por contracción durante el período de enfriamiento que siguió a su solidificación, muestra así en la superficie repetidas hendiduras que

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

se ven igualmente en las pizarras inmediatas y que aparecen rellenas de cuarzo o de pegmatita.

Es interesante consignar también que los minerales de estaño, tan frecuentes en los criaderos de tungsteno, no se encuentran en la Península Ibérica más que en la parte septentrional de la región wolframífera que hemos descrito, en tanto que faltan casi en absoluto en su extremo meridional. Obsérvese, en efecto, en Galicia y en las provincias de Zamora, Salamanca y Cáceres, en España, lo mismo que en las del Norte de Portugal, la existencia de filones metalizados por casiterita exclusivamente, y varios que sólo contienen wolfram, en tanto que en la región meridional, es decir, en Andalucía, en las provincias de Córdoba y Jaén, no se encuentra la casiterita más que como mineral accidental, extraordinariamente escaso.

Los minerales accesorios que, por lo general, acompañan a los de tungsteno en la Península, son las piritas de hierro y de cobre y el mispikel. Se presentan, además, accidentalmente, los carbonatos y silicatos de cobre, la galena, la apatita, la cheelita y la fluorina.

Hacia los años de 1920 a 1922, pasada la primera guerra mundial, fijamos, de modo aproximado, en un plano de Galicia (1 : 400.000), los afloramientos de wolfram y de estaño que resultaron coincidentes o intercalados con los arcos hercinianos, particularmente en las ramas N-S. y N-O. S-E., rumbo, este último, selectivo de los criaderos de wolfram, más quizá que de los estañíferos, pues en esa orientación N-O. S-E., se reúnen, en las zonas de Miño y Duero, en conjunto arracimado con directrices variables, pero siempre del 2.º al 4.º cuadrante.

Del 1942 al 1946 presidí, inmerecidamente, una Comisión de ingenieros jóvenes, con los cuales, en pleno entusiasmo, reconocimos los arranques y lavados en marcha, impulsamos otras muchas labores y fuimos preparando relatos y gráficos de criaderos, que, de no haberse interrumpido, ya estarían sirviendo de orientación en nuevas pesquisas; en esta comunicación, damos la reunión de las minas vigentes del 42 al 46, en el plano clásico de Fontán, reducido de 1 : 100.000 a una escala que permita su manejo en la publicación del Congreso. (Si consiguiésemos tiempo y ocasión, publicaríamos las observaciones y relaciones de nuestros cuadernos.)

Volviendo al hilo, fuera de la digresión comisional, vemos claramente que, tanto en el plano de riqueza de Galicia (Hierros 1922), como en la composición del minero que ahora damos, se desprende la coincidencia de las líneas de afloramiento con las curvilíneas de los antiguos arcos, con la importante conclusión de que es inmediata y afín la relación de los afloramientos de los criaderos con las grietas tectónicas y, en consecuencia arrastrada, la necesidad de conocer la forma y el origen de las fracturas orogénicas.

Para seguir nuestros razonamientos, llevamos la atención sobre la superficie y líneas geotectónicas de Galicia y N. de Portugal, y desde luego, se imponen:

1.º El territorio considerado está levantado con aguas juveniles y fuertes erosiones que muestran el origen de las demoliciones y rajas que ya habíamos revelado hace años, y

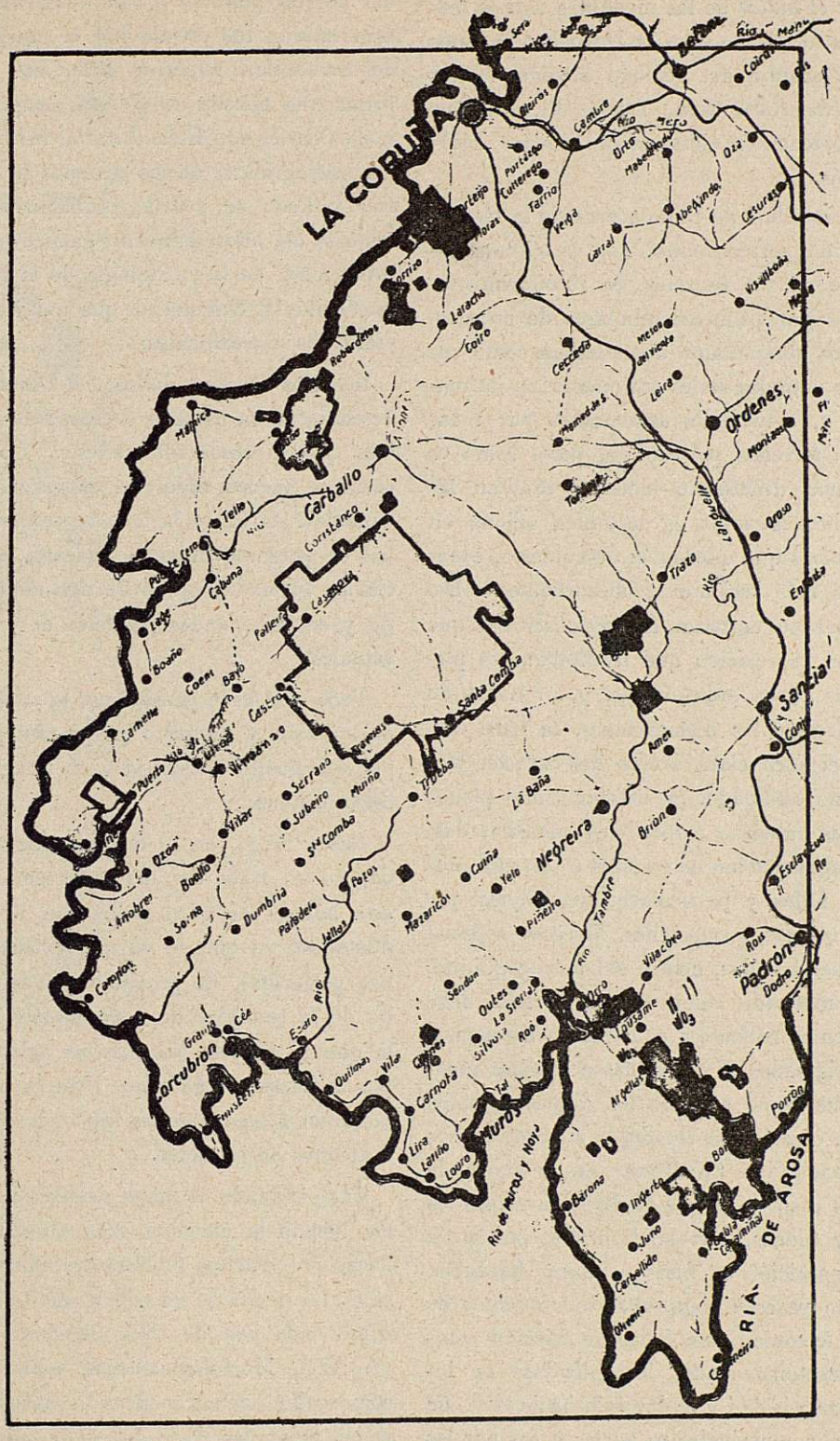
2.º Las líneas de isostasia parecen coincidentes con la serie NE-SO. del frontón gallego; u ochava de su extremo Noroeste; línea confirmada por los mapas geotectónicos del Ingeniero señor Rey Pastor.

Finalmente, los bloques han tenido que sufrir un ascenso por compresión, reavivando las viejas cicatrices hercinianas, como zonas de preferente debilidad, y, esto explica la disposición tabular de algunos criaderos importantes y, en cambio, las pegmatitas, muy caolinizadas y potentes, Avión, Lebozán, Presqueiras, etcétera, van de Norte a Sur, completando la serie de hendiduras profundas o amplias en el desgaje y arreglo de bloques; en cambio, los crestones pegmatíticos con piritas arsenicales auríferas y, a veces algo de plomo, se ajustan más al mimetismo herciniano, por donde ascendieron, o al menos, circularon las aguas hidrotermales de menor temperatura, pero aún unidas a los metales pesados más profundos: Monfero, Zas, Brués, etc.

No es evidente que al llegar al bloque paleozoico oriental de Lugo, Orense y Zamora, se supriman los diques pegmatíticos, pero ya representan apófisis graníticas finales, con endomorfismo, a veces, muy interesante, al atravesar las rocas estratiformes de los antiguos terremotos.

En resumen, las dos direcciones de los movimientos locales de empujes isostáticos, parecen ser N-NO. (Coa) y NE-SO. (del Noroeste), definidas en otra

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

publicación: (*Dos líneas tectónicas gallegas*, libro jubilar del profesor Jacob.)

Por *completar el índice* de las modernas teorías tectónicas, aplicadas al macizo Galaico-Duriense, haremos referencia a un estudio del geólogo alemán Walter Carlé (*Geologische Rundschan*, 1940), de amplitud de miras y coincidente, en cierto modo, con las orientaciones españolas.

Los modernos estudios de Stille acerca de la técnica sajona han podido perfeccionarse con la circunstancia feliz de que en los terrenos de reconocimiento estaban cubiertos por paquetes tabulares de estratos, que, más o menos horizontales, descansaban como cobertera sobre las antiguas series sedimentarias, íntimamente plegadas y, a menudo, atravesados por rocas eruptivas de los terrenos paleozoicos, pero, como es lógico, mucho más difíciles e inciertas resultan las investigaciones hechas sobre la tectónica sajona en las zonas paleozoicas que quedan al descubierto, exentas de depósitos más recientes y discordantes sobre ellos. No siempre se destacan las dislocaciones que pueden establecer la relación que facilitaban los plegamientos de las capas presajónicas, y, al tratar de establecer la edad de las dislocaciones, se hace casi imposible obtener idea clara acerca del carácter tectónico del terreno estudiado. Se utilizan como planos referentes: fallas mineras, superficies meteorizadas, dislocaciones, fragmentación de terrazas o terrenos modernos con sus fallas y particularmente, diques que atraviesan las antiguas formaciones. Merecen especial cuidado los diques fallados, dentro del mismo granito, pues es caso complicado comprobar si la falla debe referirse a la técnica reciente o es debida a fenómenos de retracción originados al consolidarse la masa magmática. Carlé cita como ejemplo los diques aplíticos de las minas de caserita de Doade, y a nosotros nos parece «La Panaqueira» (Wolfram), en la sierra de La Estrella, otro caso en el que la división en grados de los diques y filones, casi horizontales, ponen de manifiesto la disposición en fosas y pilares (Grauben und Horsts), que parecen comprobar movimientos de ensanchamiento tectónico, con fallas de fricción comprobados microtectónicamente, imponiéndose la influencia de la pizarrosidad y el dominio hacia el N. de los hundimientos, comprobados en varios casos por las estrías y espejos de resbalamiento.

Galicia se compone de rocas antiguas, plegadas, afectadas por la pizarrosidad y atravesadas e inyectadas por los plutones o batolitos graníticos; su estructura interna fué creada por el movimiento orogénico del carbonífero superior. Junto con Portugal, Galicia forma una bóveda ascendente, lo que permite compararla (Carlé) con Escandinavia. Mediante investigaciones petrográficas de los terrenos posteriores de Asturias y León se podría, probablemente, averiguar la historia del abovedamiento galaico-portugués. Las observaciones de la morfología de la costa y de la evolución fluvial demuestran que todavía duran estos movimientos ascensionales.

Los ríos Tambre, Jallas, del Puerto y muchos otros desembocan en cascada o en rápidas en el mar, mientras que su curso alto muestra aspecto senil. En la costa se pueden observar, en varios sitios, playas levantadas. Al E. de la bóveda se tienen también pruebas de estos movimientos recientes, en las cuencas terciarias formadas al borde del macizo galaico-lusitano y en las grandes planicies de gravas diluviales y actuales.

Todo nos hace pensar que la causa de la tectónica de tracción y desgarro propia del país gallego es el abovedamiento o empuje hacia arriba de la masa galaico-lusitana.

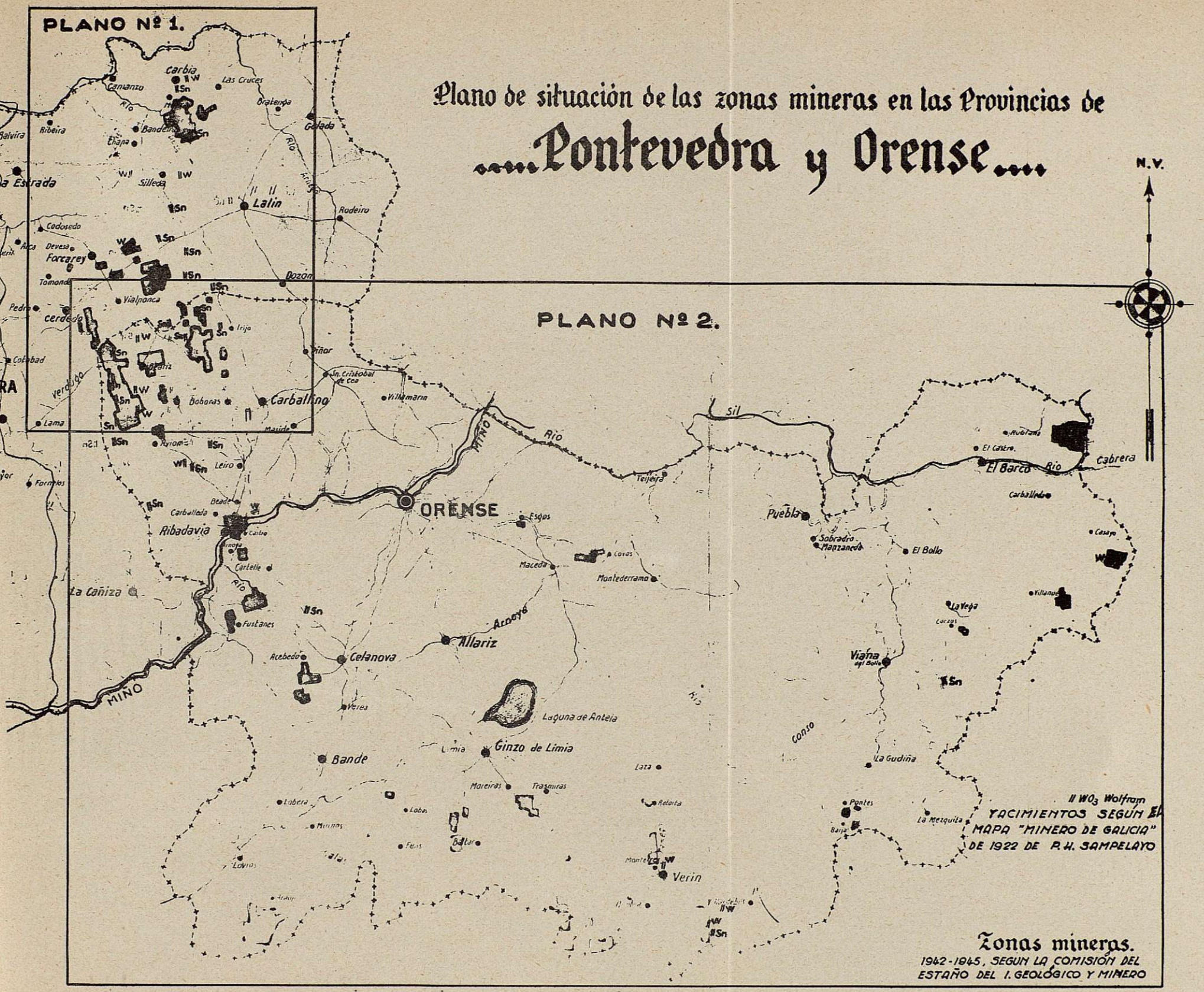
Desde luego, en la tectónica de tracción reconocida, no se trata de una fragmentación irregular de esta bóveda de gran radio que, al levantarse, se va dilatando, ya que se ve que existen ciertas direcciones preferidas. Es probable que la dirección o rumbo de la tectónica de dislocaciones esté impuesta por la que ya poseían los terrenos paleozoicos y, además, por la forma alargada que tiene la bóveda misma. Expondremos aquí algunas hipótesis en apoyo de la que acabamos de enunciar.

Contemplando el mapa geológico del NO. de España, llaman la atención gran número de cuencas, rellenas por detritus terciarios y cuaternarios, alineadas como las perlas de un collar, que tanto en su conjunto como cada una de ellas muestran el rumbo renano (N.-NE.). Morfológicamente, estas cuentas aparecen como valles anchos, a menudo planos, en medio de elevadas montañas. Este orden de colocación hace pensar en la existencia de una zona de fosas de fractura

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Plano de situación de las zonas mineras en las Provincias de

....Pontevedra y Orense....


PLANO Nº 1.
PLANO Nº 2.
N.V.
ORENSE
Carbia
Las Cruces
Orateme
Gondo
Ribeira
Chapa
Silleda
Lalin
Rodeiro
Codosedo
Forcarey
Dozon
Vialponca
Cerdedo
Irijo
Carballino
Bobaras
Lama
Leiro
Carballeda
Ribadavia
Cartelle
Fustanes
La Cañiza
Acebedo
Celanova
Allariz
Verea
Maceda
Esgos
Montederramo
Teijeira
Sil
Rio
Puebla
Sobradro
Manzaneda
El Bollo
El Barco
Cabrera
Carballedo
Villanueva
La Vega
Viana
del Bollo
La Gudiña
Pontes
La Mezquita
Laguna de Antela
Ginzo de Limia
Bande
Limia
Moreiras
Trasmiras
Laza
Verin
Lobeira
Lobios
Mixinos
Baltar
Rebaria
Conso
Arnoya
Sn. Cristobal de Cea
Villamarin
Maside
Formigos
Beade
Carballeda
Ourense
Barbadas
Pedra
Cobabad
Verdugo
Balvira
Ribeira
Chapa
Silleda
Forcarey
Tamondo
Vialponca
Cerdedo
Irijo
Carballino
Lama
Leiro
Ribadavia
Carballeda
Beade
Cartelle
Fustanes
La Cañiza
Acebedo
Celanova
Allariz
Verea
Maceda
Esgos
Montederramo
Teijeira

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

que, si bien no posee la uniformidad o unidad de la fosa renana, no obstante, se puede seguir desde el Duero hasta la costa cantábrica. La existencia de dislocaciones de este rumbo en la mitad occidental de la Península Hispánica se prueba por las fallas de Portugal medio; como se sabe, estas fallas permanecen todavía activas hasta nuestros días, como lo demuestra el terremoto de Lisboa (1755). No son raros tampoco los temblores de tierra en Galicia (véase el mapa de Sieberg en el *Tratado de Geología*, de Cool, pág. 313). Las fuentes termales del país (Las Burgas de Orense, 67° C.) hacen probable la existencia de zonas dislocadas de gran profundidad. En Verín, en una de las zonas de fosas, cerca de la costa portuguesa, surgen tres fuentes minerales. Esta zona de fosas está situada exactamente sobre la divisoria de la bóveda, si bien forma también, aproximadamente, el límite entre la parte O., en donde predomina el granito y la oriental, constituída casi exclusivamente por capas plegadas. Estos hechos, que se pueden deducir del examen del mapa, forman un apoyo firme de la hipótesis antes enunciada de que la dirección tectónica principal de Galicia está condicionada por dos causas.

Otro rasgo bien notable de la fisonomía morfológica de Galicia lo forman las rías, estas bahías semejantes a los fiordos de la costa atlántica del país. En este segmento, las rías conservan las direcciones NE. y N.-NE., lo mismo que los ríos que en ellas desembocan, de valles anchos, llanos y rectos. Al borde de estas ensenadas se observan, a trechos, fallas de tracción grandes que poseen los rumbos indicados. Esto hace pensar que las rías podrían interpretarse también como fosas de hundimiento (1).

Si, en resumen, se considera que la bóveda galaico-portuguesa se asemeja por sus caracteres al escudo fenoescandinavo, desde luego suponiéndole edad mucho más reciente, se debe, sobre todo, a la abundancia de diques que como «señales geocronológicas» y «superficies tectónicas de referencia» de gran precisión que han servido para hacer este estudio.

Para terminar, Galicia y el N. de Portugal constituyen una bóveda formada en partes antiguas de la corteza; el ensanchamiento resultante del abovedamiento se compensa por fallas de tracción. Estos movimientos de ascenso duran en la actualidad, como se demuestra innegablemente por las observaciones de la evolución de la red fluvial.

Proponemos un recuerdo, sin señalar ahora concomitancia, entre los antiguos arcos hercinianos propuestos por nuestros antiguos geólogos y las constantes zonas de resistencia y debilidad, tan preconizadas por el antiguo geólogo Cueto Rui-Díaz.

Finalmente, la forma e inclinación actual del terreno procede de la isostasia positiva hacia la zona lusitano-duriense y tendencia al hundimiento hacia las fosas N. y NO. (ochava del extremo gallego del NO.).

CONCLUSIONES

De acuerdo con lo anterior, y dada la expansión de las zonas estaño-wolframífera que, como se ve en el mapa aludido, ha tenido lugar en este último decenio con aparición de yacimientos de importancia en lugares de antecedentes nulos, lo cual determina, evidentemente, un aumenso sensible de las posibilidades hasta ahora tenidas en consideración respecto a nuestro potencial minero estaño-wolframífero, se estima conveniente y preciso realizar un estudio completo de este potencial de la forma siguiente:

1.° Realizar la fijación gráfica de los criaderos con su relación de menas pesadas y minerales de cortejo.

2.° Estudiar la distribución y arreglo de las temperaturas de fijación, con los minerales en bandas de profundidad señaladas por Jones.

3.° Investigar las profundidades probables según las zonas wolfram-casiterita-mispikel y plomo.

4.° Fijación de sondeos, menores y mayores, con propósito de señalar los criaderos más profundos, después del estudio.

5.° La continuación del estudio creemos debe iniciarse por clases de criaderos y por zonas como sigue:

División por criaderos:

a) Distintas clases de pegmatitas en tipos cuarzosos, feldespáticos y alteración de diques en barros.

b) Grietas en pórfidos y reapertura en pegmatitas más modernas (Beariz).

c) Series de filones múltiples (Millerada, Santa Comba).

d) Relaciones con las zonas básicas (Carballo, Silleda).

(1) P. H. Sampelayo, 1912. *Denudación de la costa de Lugo.*

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

División de zonas:

a) Occidental (minerales de cortejo), scheelita, rutilos, etc. (costa).

b) Central de N. a S. (casiterita y wolfram).

c) Oriental, minerales con mispikel (auríferos).

Mayo de 1950.

Al terminar la lectura del extracto del trabajo anterior, el Presidente interrumpe la sesión por lo avanzado de la hora, para continuarla en el mismo lugar al día siguiente a las dieciséis horas y media.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

ACTA DE LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 31 DE MAYO DE 1950
(Continuación.)

Bajo la Presidencia de D. Primitivo Hernández Sampelayo, D. Ignacio Patac y el Secretario, Sr. Almela, Ingenieros de Minas, se abre la sesión a las cuatro y media de la tarde.

El Sr. Del Águila manifiesta que de la composición de la Mesa debería formar parte D. Manuel Lorenzo Pardo, a lo que el Sr. Presidente da su conformidad, proponiendo añadir, además del propuesto por el Sr. Del Águila, un Ingeniero Agrónomo, por entender que los asuntos que se han de tratar lo hacen necesario, y que, además, sería oportuno para la redacción de la Ponencia final, contar con los señores mencionados y alguno más que sea preciso.

El Sr. Lorenzo Pardo declina la designación y dice que no hay por qué modificar la composición de la Mesa, y que si es necesaria la colaboración o el concurso de alguna persona especializada al fin previsto, puede recabarse siempre.

Los reunidos se muestran conformes con el Sr. Lorenzo Pardo, y seguidamente se pasa a leer el siguiente trabajo, núm. 45:

N.º 45. - Los sondeos artesianos, fuente de divisas

† Autor: D. SEBASTIÁN PADILLA LÓPEZ DE ANCA
Ingeniero de Minas

Supongamos que la Dirección General de Obras Hidráulicas tuviese estudiados muchos emplazamientos de pantanos para riegos y que no se hubiesen llevado a cabo la construcción de ninguno. ¿Qué pensaríamos? Que era una pena saber que teníamos una gran riqueza sin aprovechar, que era necesario que, inmediatamente, se hiciesen los presupuestos y que con toda rapidez se construyesen presas y canales, para poner en riego grandes extensiones de terreno, que darían como resultado la creación de una gran riqueza agrícola.

Pues bien, esto es lo que ocurre con las aguas artesianas. Que el Instituto Geológico y Minero de España tiene hechos infinidad de estudios geológicos e investigaciones, por lo que son conocidas zonas interesantes, tanto en aguas artesianas como freáticas, pero que están esperando se las haga surgir para poner en riego interesantes zonas, que se convertirían, muchas de ellas, de completamente incultivables, en magníficos regadíos. Como consecuencia, serían fuente de divisas, unas, directas, por ser sus productos de exportación, y otras, indirectas, por aumentar, como si dijéramos, nuestros graneros.

Si todas las tierras ricas y que no producen por falta de riegos se pudiesen regar con aguas de pantanos, no pensaríamos en las aguas artesianas, pero los

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

pantanos y sus zonas de regadío están supeditados a ciertas condiciones geográficas.

Por otra parte, se podría suponer que el costo de puesta en riego de una Ha. por medio de aguas artesianas, resultaría a coste muy elevado, pero no es así, como veremos más adelante.

El precio de coste de puesta en riego de una Ha. por medio de pantanos es muy variable de unos pantanos a otros; depende de factores muy variables, tales como costo de la presa, volumen de embalse, distancia de la presa a la zona regable, superficie de la zona regable, etc., pero se puede tomar una media, que cabe estimar en unas 10 a 15.000 pesetas por Ha., y, aproximadamente, 10 años son necesarios para la construcción de la presa, canales, etc.

En el alumbramiento de aguas artesianas para riegos el precio de coste por Ha. depende de los factores siguientes: profundidad a que se encuentran las aguas, número de litros por segundo de cada perforación y su costo de mano de obra, amortización de maquinaria, dirección técnica, etc. Por los datos que poseemos se puede dar profundidad media de 125 a 150 metros, y caudal de unos 2 litros por segundo; es decir, que con cada sondeo se pueden poner en riego dos hectáreas.

Hoy día, los riegos por medio de pozos artesianos son muy escasos, pues los que existen han sido acometidos por particulares unos, con máquinas antiguas y lentas, y otros, por procedimientos rudimentarios, como ocurre en algunos puntos de Levante, donde ejecutan las perforaciones a mano y a percusión.

Con los trenes modernos de perforación y su técnica del empleo de bentonitas y trépanos triconos, se pueden ejecutar las perforaciones con gran rapidez y con coste relativamente reducido.

PLAN DE REALIZACIÓN

Me propongo en este estudio analizar y estudiar los trenes de sonda más a propósito, su número y su aspecto económico, en un plan quinquenal para la adquisición de maquinaria, empezando con 10 trenes de sonda, para llegar al quinto año con 50, con las que se podrán poner en riego cada año 2.400 Ha.

Como la maquinaria moderna para la perforación de pozos artesianos es de importación, se pueden empezar las perforaciones, el primer año, con 10 trenes de sonda importados, y durante este año y los tres siguientes construiríamos 10 trenes de sonda cada año, de modo que no fuera necesario importar nada más que los equipos de perforación que no podemos construir.

Así como la construcción de pantanos para riegos y sus canales son construídos por el Estado, la ejecución de los sondeos necesarios para hacer surgir el agua artesiana debe ser acometida por él. Puede muy bien ser el Instituto Nacional de Industria o el de Colonización el encargado de su ejecución, bien directamente o una entidad estatal dependiente de él y asesorado por el Instituto Geológico y Minero de España.

MAQUINARIA

Los trenes de sonda para esta clase de trabajos tienen que ser sondas rápidas, equipadas con elementos modernos de perforación, provistos de trépanos triconos, montadas sobre camión o remolque y a propósito para emplear los métodos modernos de empleo de bentonitas. Todo el tren de sonda y castillete van montados sobre la plataforma del camión o remolque; para el transporte, el castillete se dobla y queda tendido sobre el camión. De esta manera se puede terminar un sondeo y en pocas horas empezar otro.

Son muchas las casas extranjeras que construyen maquinaria para sondeos, pero es necesario hacer una elección muy minuciosa para que cumpla las condiciones necesarias para que la perforación resulte rápida, económica y a propósito para el trabajo que nos ocupa.

Uno de los trenes de sonda que reúne muy aproximadamente las condiciones necesarias es la núm. 150 Drill, de la casa americana JOY. Como el precio de las similares de otras es aproximadamente igual, tomaremos el de ésta para nuestro estudio económico.

PRECIO DE UN TREN DE SONDA

Tren de sonda	10.200	dólares.
Bomba de inyección	1.475	»
Camión	4.950	»
Equipo sonda	8.000	»
Total	24.625	dólares.

Cotizando el dólar a 30 pesetas, resultan 738.750 pe-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

setas. Para evitar el importar toda la maquinaria necesaria para llevar a efecto el plan general de disponer en cinco años de 50 sondas, solamente el primer año se deben importar 10 sondas como la ya indicada o similar, a excepción de los camiones o remolques que pueden ser substituídos por nacionales. Solamente es necesario un camión, en el que vendrá montada una sonda, que servirá para estudiar su montaje.

Una vez estudiados los trenes de sonda importados, durante el primer año y mientras estas máquinas están perforando, se pueden fabricar en talleres nacionales 10 sondas anuales, a importar solamente los equipos de sonda.

A continuación se señalan los elementos necesarios que habría que importar y construir, para llegar al quinto año a disponer de 50 trenes de sonda, así como su importe.

Especificación	Cantidad	Total dólares	Dólar a 30 ptas.	Total ptas.
Trenes de sonda... ...	10	102.000	3.060.000	3.060.000
Bombas	10	14.750	442.500	442.500
Camiones...	1	4.950	148.500	148.500
Equipos de sonda ...	10	80.000	2.400.000	2.400.000
Camiones...	3			450.000
Remolques...	10			45.000
Totales año 1950		201.700	6.051.000	6.546.000
Trenes de sonda... ...	10			3.060.000
Bombas	10			442.500
Camiones...	4			600.000
Equipos de sonda ...	10	80.000	2.400.000	2.400.000
Remolques...	10			45.000
Totales años 1950 a 54		80.000	2.400.000	6.547.500

GASTOS DE PERFORACIÓN

Para sacar el mayor rendimiento a cada máquina es necesario trabajar con tres turnos, lo que, además de más rapidez en la ejecución, tiene la ventaja de evitar hundimientos, pues está comprobado que un terreno que sea de poca consistencia se mantiene por algún tiempo sin hundirse.

Mano de obra por máquina:

Un sondista	1.500 ptas.
Dos ayudantes	2.000 »
Seis peones	3.600 »
Total de mano de obra	7.100 ptas.
Cargas sociales, seguros, etc., el 100 %	7.100 »
Total de mano de obra mensual	14.200 ptas.

"Gas-oil":

Motor de 50 HP., consumo 200 gm. por HP. durante 24 horas, a 1,50 ptas. el litro; en un mes.	10.800 ptas.

Gasto por máquina y mes:

Mano de obra	14.200,— ptas.
«Gas-oil»	10.800,— »
Bentonita	800,— »
Suministros	4.000,— »
Reparaciones	500,— »
Amortización de la sonda en 20 años	2.727,50 »
Suma	33.027,50 ptas.
Gastos generales e imprevistos, 5 %	1.651,37 »
Dirección, administración, etc., el 15 % ...	5.301,83 »
Total de gasto mensual por sonda	39.980,70 ptas.

RENDIMIENTO DE CADA SONDA

Con sondas modernas como las propuestas y en terrenos como los que se tienen que atravesar, de dureza blanda y media, se puede hacer, como mínimo, un avance de dos metros por hora, lo que hace un diario de 48 m. Sin embargo, para más garantía y seguridad en nuestros cálculos, no vamos a tomar esta de avance diario, sino que solamente la tercera parte; en números redondos, 15 metros diarios.

Como la profundidad media de cada sondeo la he estimado en 150 metros, cada máquina perforaría un sondeo en 10 días; pero teniendo en cuenta domingos, fiestas y traslados, solamente vamos a suponer que cada máquina perforara dos sondeos por mes. Resulta, por tanto, que cada sondeo costaría $\frac{29.980,70}{2} = 19.990,35$ pesetas.

Calculado, anteriormente, que el caudal medio de cada sondeo es de 2 litros por segundo, cada sondeo podrá regar 2 Ha.; por tanto, el costo de puesta en riego de una Ha. será $\frac{19.990,35}{2} = 9.995,17$. En números redondos, 10.000 pesetas; cantidad muy similar a la puesta en riego con pantanos.

En el cuadro que sigue se hace constar el número de sondas en trabajo, número de sondeos ejecutados, número de Ha. puestas en riego cada año y total de Ha. en regadío, durante los 10 primeros años:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

1.ª AÑOS	2.ª Núm. sondas en trabajo	3.ª Ha. puestas en riego anualmente	4.ª Total Ha. en riego	5.ª Ha. gravadas con un % del producto agrícola	6.ª Importe de la maquinaria	7.ª Costo total sondeos incluída amortización maquinaria — Pesetas	8.ª Amortización maquinaria — Pesetas	9.ª Gasto total anual — Pesetas	10.ª Valor producto agrícola de las Ha. gravadas en un % durante 10 años Pesetas
1950	1				6.546.000			6.546.000	
1951	10	480	480		6.547.500	4.800.000	327.300	11.020.200	
1952	20	960	1.440	480	6.547.500	9.600.000	654.600	15.492.900	7.025.904
1953	30	1.440	2.880	1.440	6.547.500	14.400.000	981.900	19.965.600	21.077.712
1954	40	1.920	4.800	2.880	6.547.500	19.200.000	1.309.200	24.438.300	42.155.424
1955	50	2.400	7.200	4.800		24.000.000	1.636.500	22.363.500	70.259.040
1956	50	2.400	9.600	7.200		24.000.000	1.636.500	22.363.500	105.388.560
1957	50	2.400	12.000	9.600		24.000.000	1.636.500	22.363.500	140.538.080
1958	50	2.400	14.400	12.000		24.000.000	1.636.500	22.363.500	175.687.600
1959	50	2.400	16.800	14.400		24.000.000	1.636.500	22.363.500	210.837.120
1960	50	2.400	19.200	16.800		24.000.000	1.636.500	22.363.500	245.986.640
1961	50	2.400	21.600	19.200		24.000.000	1.636.500	22.363.500	281.136.160
1962	50	2.400	24.000	21.120		24.000.000	1.636.500	22.363.500	309.139.776
1963	50	2.400	26.400	22.560		24.000.000	1.636.500	22.363.500	330.217.488
1964	50	2.400	28.800	23.520		24.000.000	1.636.500	22.363.500	344.269.296
1965	50	2.400	31.200	24.000		24.000.000	1.636.500	22.363.500	351.295.200
1966	50	2.400	33.600	24.000		24.000.000	1.636.500	22.363.500	351.295.200
1967	50	2.400	36.000	24.000		24.000.000	1.636.500	22.363.500	351.295.200
1968	50	2.400	38.400	24.000		24.000.000	1.636.500	22.363.500	351.295.200
1969	50	2.400	40.800	24.000		24.000.000	1.636.500	22.363.500	351.295.200
1970	50	2.400	43.200	24.000		24.000.000	1.636.500	22.363.500	351.295.200
1971	40	1.920	45.120	24.000		19.200.000	1.309.200	17.890.800	351.295.200
1972	30	1.440	46.560	23.520		14.400.000	981.900	13.418.100	344.269.296
1973	20	960	47.520	22.560		9.600.000	654.600	8.945.400	330.217.488
1974	10	480	48.000	21.120		4.800.000	327.300	4.472.700	309.139.776
1975				19.200					281.136.160
1976				16.800					245.986.640
1977				14.400					210.837.120
1978				12.000					175.687.600
1979				9.600					140.538.080
1980				7.200					105.388.560
1981				4.800					70.259.040
1982				2.880					42.155.424
1983				1.440					21.077.712
1984				480					7.025.904
Sumas...					32.736.000	480.000.000			

11.ª Importe del 6,83 % del producto agrícola, durante 10 años Pesetas	12.ª Capital anual necesario — Pesetas	13.ª Recuperación del capital — Pesetas	14.ª Importe del 10 % del producto agrícola, durante 10 años Pesetas	15.ª Capital anual necesario — Pesetas	16.ª Recuperación del capital y beneficios anuales Pesetas
	6.546.000,00			6.546.000,00	
	11.020.200,00			11.020.200,00	
479.869,24	15.013.030,76		702.590,40	14.790.309,60	
1.439.607,72	18.525.992,28		2.107.771,20	17.857.828,80	
2.879.216,68	21.559.083,32		4.215.542,40	20.222.557,60	
4.798.692,43	17.564.807,57		7.025.904,00	15.337.596,00	
7.198.038,64	15.165.461,36		10.538.856,00	11.824.644,00	
9.598.750,86	12.764.749,14		14.053.808,00	8.309.692,00	
11.999.463,08	10.364.036,92		17.568.760,00	4.794.740,00	
14.400.175,29	7.963.324,71		21.083.712,00	1.279.788 00	
16.800.787,51	5.562.712,49		24.598.664 00		2.235.164,00
19.201.599,72	3.161.900,28		28.113.616,00		5.750.116,00
21.114.248,69	1.249.251,31		30.913.977,60		8.550.477,60
22.553.854,42		190.354,42	33.021.748,80		10.658.248,80
23.513.592,91		1.150.092,91	34.426.929,60		12.063.429,60
23.993.462,16		1.629.962,16	35.129.520,00		12.766.020,00
23.993.462,16		1.629.962,16	35.129.520,00		12.766.020,00
23.993.462,16		1.629.962,16	35.129.520,00		12.766.020,00
23.993.462,16		1.629.962,16	35.129.520,00		12.766.020,00
23.993.462,16		1.629.962,16	35.129.520,00		12.766.020,00
23.993.462,16		1.629.962,16	35.129.520,00		12.766.020,00
23.993.462,16		6.102.662,16	35.129.520,00		17.238.720,00
23.513.592,91		10.095.492,91	34.426.929,60		21.008.829,60
22.553.854,42		13.608.454,42	33.021.748,80		24.076.348,80
21.114.248,69		16.641.548,69	30.913.977,60		26.441.277,60
19.201.599,72		19.201.599,72	28.113.616,00		28.113.616,00
16.800.787,51		16.800.787,51	24.598.664,00		24.598.664,00
14.400.175,29		14.400.175,29	21.083.712,00		21.083.712,00
11.999.463,08		11.999.463,08	17.568.760,00		17.568.760,00
9.598.750,86		9.598.750,86	14.053.808,00		14.053.808 00
7.198.038,64		7.198.038,64	10.538.856,00		10.538.856,00
4.798.692,43		4.798.692,43	7.025.904,00		7.025.904,00
2.879.216,68		2.879.216,68	4.215.542,40		4.215.542,40
1.439.607,72		1.439.607,72	2.107.771,20		2.107.771,20
479.869,24		479.869,42	702.590,40		702.590,40
	146.460.550,14	146.364.379,82		111.983.356,00	334.627.956,00

AÑOS	Núm. sondeos	Ha. puestas en riego en el año	Total Ha. de riego
1951	240	480	480
1952	480	960	1.440
1953	720	1.440	2.880
1954	960	1.920	4.800
1955	1.200	2.400	7.200
1956	1.200	2.400	9.600
1957	1.200	2.400	12.000
1958	1.200	2.400	14.400
1959	1.200	2.400	16.800
1960	1.200	2.400	19.200

ESTUDIO ECONÓMICO

Me propongo analizar ahora la producción por Ha. y su valoración. Para esto se podría tomar un producto agrícola cualquiera, pero esto no sería la realidad, pues se podría pecar por exceso al tomar un producto de precio elevado, y por defecto si es de bajo rendimiento económico. Para evitar estos inconvenientes, y ponernos más en la realidad, se van a tomar de la revista de Agricultura del año 1947 (última publicada), la producción media de los principales productos de regadío, como asimismo la media de los precios pagados al agricultor, deduciendo el valor de la producción por Ha.

Esta producción media, precios medios y valor del producto por Ha., es como sigue:

CULTIVOS	Producción por Ha. en Qm.	Precio por Qm.	Valor del producto por Ha. en ptas.
Trigo	14,67	141,20	2.071,40
Cebada	16,60	78,40	1.301,44
Centeno	13,50	151,18	2.040,93
Maíz	19,14	180,29	3.450,75
Habas grano	9,68	165,41	1.600,76
Lentejas	11,00	359,65	3.955,71
Guisantes grano	8,95	132,60	1.186,77
Garbanzos	8,14	482,14	3.924,61
Judías grano	7,70	477,45	3.776,36
Lino	6,71	1.050,69	7.049,99
Algodón	6,40	649,03	4.153,79
Cacahuete	16,42	652,12	10.707,81
Pimiento - pimentón	24,50	659,00	16.145,50
Suma y sigue			61.365,82

CULTIVOS	Producción por Ha. en Qm.	Precio por Qm.	Valor del producto por Ha. en ptas.
Suma anterior			61.365,82
Remolacha azucarera	203,30	40,85	4.219,80
Tabaco	17,91	865,82	15.506,83
Remolacha, forraje	284,71	35,23	10.030,33
Nabo, forraje	228,88	26,01	5.953,16
Zanahoria, forraje	223,85	49,77	11.139,01
Batata	146,32	86,98	12.726,91
Boniato	168,35	82,31	13.856,88
Chufa	95,00	420,00	39.900,00
Ajo	80,43	204,29	16.431,04
Cebolla	223,39	77,98	17.426,55
Patata	108,02	90,29	9.753,12
Tomate	257,00	99,79	25.646,03
Suma			243.955,48

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

De donde se deduce que el valor medio de la producción agrícola por Ha. y cosecha es $\frac{243.955,48}{25} =$ = 9.758,21, cantidad más bien por defecto, puesto que muchos de los cultivos que he incluído en la relación anterior no son del agrado del agricultor, por su bajo precio.

En cultivo de regadío se recolectan, por lo general, dos cosechas, pero para nuestros cálculos sólo tomaremos una y media, para mayor garantía en este estudio económico, en el que quiero pecar, por defecto, en cuanto a la producción, y por exceso, en lo relacionado al costo de las perforaciones o puesta en riego de la Ha.

Por cuanto antecede, se deduce que el valor de la producción agrícola por Ha. y año es:

$$9.758,20 + \frac{9.758,20}{2} = 14.637,30$$

Me propongo analizar ahora el plan económico, bajo tres aspectos, en un período de 20 años, tiempo de vida asignada a la maquinaria:

Primero. *Puesta en riego costeada por el Estado.*

El capital necesario para la adquisición de los 50 trenes de sonda y hacer las perforaciones para poner en riego 48.000 Ha., en un plazo de 20 años, sería: 48.000 × 10.000 = 480 millones de pesetas.

Segundo. *Capital aportado por el Estado con amortización por el agricultor.*

Se puede casi asegurar que si al propietario o arrendatario de tierras de secano (muchas de ellas en regiones que nada producen por falta de agua), se les propone alumbrarles agua para regar sus tierras, pagando los gastos de alumbramiento, 10.000 pesetas por Ha., pagaderas en 10 años, con un tanto por ciento del valor de la cosecha, contestarían afirmativamente y, además, agradecidos, porque se les daba el medio de ganar.

El tanto por ciento para amortizar (sin interés) las 10.000 ptas. por Ha. con la producción agrícola en 10 años sería:

$$\frac{10.000 \times 100}{14.637,3 \times 10} = 6,83\ \%$$

Tercero. *Capital aportado por el Estado amortizando el capital en los primeros años y en los siguientes beneficio.*

Tampoco sería muy gravoso para el agricultor o arrendatario pagar el 10 % del producto agrícola durante 10 años; es decir, un 3,17 más en concepto de interés y beneficio. De esta manera puede la empresa, después de reintegrar el capital, tener vida propia.

En el cuadro de las páginas anteriores se detallan numéricamente los tres aspectos señalados en el período de los 20 años de vida de las máquinas.

CONCLUSIONES

Generales.

Importe de la maquinaria importada en cinco años, 521.700 dólares	15.651.000 ptas.
Importe maquinaria nacional	17.085.000 »
Costo de puesta en riego por Ha.	10.000 »
Hectáreas puestas en riego en 24 años.	48.000
Costo total de las 48.000 Ha.	480.000.000 ptas.

Puesta en riego costeada por el Estado.

Capital necesario ... ... 480.000.000 ptas.

distribuídas en 24 años, según se detalla en la columna 7.ª del cuadro anterior.

Hectáreas puestas en riego en 24 años. 48.000

Capital aportado por el Estado, amortizado por el agricultor.

Capital necesario, 146.460.550,14 pesetas,

distribuídas en 13 años, según se detalla en la columna 12 del cuadro anterior.

La recuperación del capital se detalla en la columma 13 del cuadro anterior.

Hectáreas puestas en riego, 48.000.

Capital aportado por el Estado, con amortización y beneficios.

Capital necesario, 111.983.356 pesetas.

distribuídas en 10 años, según se detalla en la columna 15 del cuadro anterior.

La recuperación del capital y beneficios se detalla en la columna 16.

El beneficio es de 222.644.600 pesetas.

Hectáreas puestas en riego, 48.000.

Madrid, 30 de abril de 1950.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Concedida la palabra a D. Manuel Lorenzo Pardo, éste manifiesta que la iniciativa que supone el trabajo que acaba de leerse merece la simpatía de todos y que sería de desear que esto fuese planteado en escala mayor, señalando, no obstante, que una generalización excesiva fuese en perjuicio de la propia iniciativa que se ha expuesto, y advierte que las cifras que se han dado le parecen exageradamente optimistas, pues, por ejemplo, en el pantano del Ebro, las cifras que acaban de darse a conocer resultarían de un volumen de 1.400.000.000 de ptas., y reitera su manifestación de que no se puede generalizar. Le contesta el Sr. Padilla, aclarando que su propuesta es para sitios donde no se puede regar con pantanos, y el Sr. Lorenzo Pardo dice que con esto basta.

Sin más objeciones se pasa a leer el trabajo núm. 173, que reproducimos seguidamente:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

N.º 173. - PLUVIOTECNIA

Autor: D. LEOPOLDO CASTÁN Y SÁENZ DE VALLUERCA
Teniente Coronel de Defensa Química y Dr. en Ciencias

Es indudable la importancia que tiene actualmente toda tentativa encaminada a buscar y orientar soluciones al problema que se plantea en España, debido a que el régimen de lluvias resulta insuficiente para satisfacer las necesidades de carácter agrícola y las relacionadas con la producción de energía hidroeléctrica.

La Comisión organizadora de este Congreso, percatándose de ello, ha incluído en una de sus ponencias el estudio de este tema, y he aquí la razón de mi modesta aportación, ya que considero un deber el dar cuenta de los resultados alcanzados hasta la fecha en el curso de ensayos y experimentos realizados, si bien los considero incompletos porque la magnitud del problema requiere medios de investigación que por el momento no he tenido a mi alcance, aunque recientemente me han ofrecido organismos oficiales el apoyo necesario para llevar a cabo el programa de trabajo proyectado al objeto de reunir los datos y elementos de juicio necesarios para determinar si es factible o no la provocación de la lluvia.

Cuantos caminos se sigan han de basarse en acertadas interpretaciones de los fenómenos de cambio de estado que tienen lugar en la atmósfera y en la influencia que ejercen las condiciones topográficas y otros factores de los que no se tienen ideas concretas, porque las teorías actualmente en vigor dejan sin aclarar algunos fenómenos relacionados con la condensación y precipitación del agua de lluvia.

Los procedimientos ensayados a base de anhídrido carbónico se fundan en las teorías de Bergeron y Findeinsen. Se emplea la nieve o el hielo carbónico y el yoduro de plata para facilitar la formación de cristales de hielo que aceleran la condensación y sublimación del agua de la atmósfera y su posterior caída en forma de lluvia.

Del resultado de estos experimentos se tienen noticias contradictorias, y parece que el problema no está satisfactoriamente resuelto.

A primera vista parece natural que, en cuanto se llegue en la atmósfera al punto de rocío, debe iniciarse la condensación del vapor de agua, pero no ocurre así, ya que no estamos en el caso de vapor en contacto con la fase líquida en superficies planas, sino que en la atmósfera se formarían gotas elementales esféricas, en las que intervienen tensiones capilares que se oponen a su crecimiento, hasta tal punto que, en gotas de 1/10.000.000 de milímetro, la energía necesa-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ria para evaporarlas es equivalente a la tensión capilar, de modo que, teóricamente, no se llegarían a formar estas gotas elementales.

Se deduce de lo expuesto que, si no intervienen otros factores, no es posible la condensación si no se alcanzan grados de sobresaturación que, prácticamente, no se presentan.

No obstante, se produce la condensación debido a la existencia de los núcleos de condensación, y, aunque podría suponerse que todas las partículas dispersas en el aire sirven como tales, y en particular las de mayor tamaño, no ocurre así porque es preciso que sean higroscópicas y que tengan determinadas cargas eléctricas.

Aitken, Defant, Köler, Wigand y otros investigadores han estudiado las características de los núcleos de condensación, observando que en el aire de los mares abundan los núcleos salinos formados por microcristales de los cloruros sódico y magnésico procedentes del agua pulverizada de la espuma de las olas, y que estos núcleos llegan al interior de los continentes arrastrados por el viento, razón por la que se ha encontrado cloro en el agua de lluvia.

La composición química de los núcleos continentales varía según su procedencia; son completamente distintos los del campo árido, bosques, poblaciones, zonas fabriles, etc.; se diferencian las partículas de polvo neutras de las que poseen cargas eléctricas, que son, precisamente, las que actúan como gérmenes de condensación.

Son muy eficaces los compuestos oxigenados del nitrógeno y del azufre, especialmente el anhídrido sulfúrico que procede de la oxidación del anhídrido sulfuroso, en cuyo proceso desempeñan y tienen acción muy importante los rayos cósmicos.

El tamaño de los núcleos de condensación es del orden de 5 1/10.000 de mm.

No está bien determinado el motivo por el que los núcleos con cargas negativas tienen mayor actividad que los electropositivos; se supone que, en parte, es debido a las cargas de las gotitas de agua o de hielo de las nubes son positivas y, por otra parte, a fenómenos de absorción y repartición de los iones en capas más o menos próximas a la superficie, por lo que se desarrollan en las gotas presiones osmóticas que tienden a incrementar el tamaño de la gota, contrariamente a lo que ocurre con las tensiones capilares ya mencionadas.

Supuesta la gota formada, adquiere una velocidad de caída que es función del radio, y, para darnos cuenta de la influencia de éste, bastará decir que con radios 1/1.000 de mm. la velocidad es 1/1.000 de cm. por segundo; para radios de 1/10 de mm. es de 80 cm./seg., y para radios de 1 mm. es de 6 mts./seg.

Serán suficientes pequeñas corrientes de viento ascendente para que las gotas se mantengan sin caer, cuando tengan radios menores de 1/10 de mm.

Las gotas en su descenso se fraccionan cuando la velocidad es de 8 mts./seg. Aplicando la fórmula de Schmidt se llega a calcular que el tamaño mayor que puede tener una gota de lluvia es de 3,6 mm.

Las gotas se evaporan a medida que descienden, y Findeinsen ha llegado a calcular los espacios recorridos hasta su total evaporación, razón por la que no todas las gotas formadas llegan a la superficie de la Tierra.

Tanto Bergeron como Findeinsen atribuyen gran importancia a la formación de pequeños cristales de hielo y de nieve en las nubes, los cuales actúan como núcleos que facilitan la lluvia, debido al crecimiento de los cristales de hielo a expensas de la fase líquida, por su diferencia de tensión de vapor, y que se funden y producen las gotas de lluvia.

Me permito hacer estas consideraciones, de todos ya conocidas, solamente con el objeto de indicar que no bastará producir la condensación del vapor de agua, sino que el tamaño sea lo suficiente para que llegue a tierra en forma de lluvia.

Quizá influído por las orientaciones en materias relacionadas con el estado coloidal, de mi querido maestro Dr. Rocasolano (al que tributo en este momento un recuerdo de admiración y de respeto), y, por otra parte, al desarrollo de un gran número de experimentos realizados con aerosoles para formar nieblas con fines de ocultación militar, he enfocado el estudio de la provocación de lluvia considerando las nubes como suspensiones de tipo coloidal. Por consiguiente, al examinar los factores que intervienen en la inestabilidad de estos estados de dispersión, podremos encontrar las causas que tienden a romper el equilibrio de dicho estado produciendo la coalescencia de las gotas y faci-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

litando, además, la condensación del vapor de agua de la atmósfera.

Augusto Schumaus y Alberto Wigand publicaron en 1929, en Alemania, un tratado titulado *La atmósfera coloide*, y sus opiniones confirman la explicación dada a fenómenos atmosféricos relacionados con las nubes y los hidrometeoros.

Partiendo de estas orientaciones deduje la posibilidad de romper el equilibrio de una nube mediante la dispersión dentro de ella o en sus inmediaciones de otra nube formada por partículas higroscópicas e ionizables, ya que el fenómeno quedaba reducido a la mezcla de dos aerosoles cuyas micelas tienen cargas eléctricas de distintas características.

Si a la influencia de las cargas eléctricas iónicas unimos el efecto higroscópico, es de esperar que se formen gotas de tamaño suficiente para que caigan en forma de lluvia y lleguen a tierra.

El efecto de los núcleos higroscópicos e ionizables no puede favorecer el crecimiento de los cristales de hielo; en cambio, aceleran su fusión por el descenso crioscópico.

Wall llegó a la conclusión de que solamente pueden actuar como núcleos de sublimación los cristales secos en los que las aristas no han sufrido deformaciones.

PARTE EXPERIMENTAL

Teniendo en cuenta lo expuesto, empecé una serie de ensayos realizando emisiones desde tierra, formando nieblas artificiales en terrenos y condiciones meteorológicas muy distintas, utilizando los escasos recursos de que disponía, y obtuve resultados francamente satisfactorios.

Recordé entonces que en años anteriores durante emisiones realizadas en Ávila y en Barcelona, en días en los que estaba el cielo cubierto, pero que presentaba señales de lluvia, llovió a los diez minutos aproximadamente después de hecha la emisión.

Esto me hizo pensar que la lluvia había sido provocada por las nieblas emitidas que estaban formadas por suspensiones coloidales de substancias como el ácido clorosulfónico y la conocida mezcla «Berger».

Seguí los experimentos con bastante optimismo, puesto que había motivos para suponer que el procedimiento basado en la dispersión de iones era eficaz para provocar la lluvia.

Para darse fácilmente cuenta de estos resultados distingo cuatro tipos de experimentos que describo a continuación.

1.º Días con cielo despejado o escasa nubosidad, con humedad relativa del 60 al 75 %, velocidades de viento menores de tres metros por segundo, temperaturas comprendidas entre los 12 y 20 grados.

Se comprobó a unos 300 metros de la base de emisión que se producía condensación y precipitación del agua atmosférica; en cierta ocasión, por las gotas que caían en un charco, si bien no se podían considerar como lluvia por su reducido número, cosa natural, pues no había nubosidad para ello.

2.º Estudiadas las corrientes de aire ascendente en las inmediaciones de Ordal, a 28 kms. de Barcelona, tuve la idea de aprovecharlas para elevar una niebla artificial a una altura tal, que sus efectos sobre las nubes fuesen más eficaces que desde tierra.

Con esta finalidad, en un terreno pedrogoso que, por su topografía, se calienta mucho por la acción de los rayos solares, formé una nube en un frente de unos 200 metros, en una mañana del mes de junio, aprovechando momentos de calma del viento antes de iniciarse la brisa del mar, y logré que la nube llegase hasta unos 1.200 metros de altura.

Por rara casualidad, se mezcló con un cúmulo de unos 500 metros de longitud y 300 de ancho. A los pocos segundos se había homogeneizado la mezcla y más tarde se notó un cambio en la tonalidad grisácea de la base y después aparecían claramente las vírgulas características del descenso de lluvia que cayó a unos 1.000 metros del lugar donde se hizo la emisión debido a la influencia del viento a la altura en que se juntaron las nubes.

Con este hecho casual quedaba probada la influencia que había ejercido el fumígeno al mezclarse directamente con la nube, tal como se esperaba.

3.º En días nublados, con humedad relativa de 80 al 95 %, en los que no era probable la lluvia, al parecer, se ha comprobado que a los seis o diez minutos, poco más o menos, de hecha la emisión, empezaban a caer gotas y se generalizaba la llovizna hasta que se quedaba la atmósfera relativamente despejada.

Citaré concretamente la emisión hecha el día 20 de

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

diciembre del pasado año en Ordal; iniciada a las 11,40, se notó perfectamente un cambio en la tonalidad de la base de la masa de nubes en dirección a Sitjes y a Barcelona; seguimos en el coche hasta el Llobregat, donde nos detuvimos para apreciar el desplazamiento de la lluvia, comprobando que en el paseo de Gracia había empezado a llover a las 12,10.

Otra emisión, en Madrid, el día 21 de octubre último, llevada a cabo con motivo de prácticas durante un cursillo para Capitanes diplomados de Defensa Química. El día presentaba características para llover, y a los pocos minutos de hecha una emisión empezaba a llover y se notó que se corría la lluvia en dirección a Madrid, donde empezó unos veinte minutos más tarde que en Carabanchel. Estos informes los facilitó la Jefatura del Servicio de D. Q. porque confirmaban las ideas expuestas en una conferencia dada por el autor, sobre meteorología, en el referido cursillo.

4.º Emisiones en lugares altos como Santa Fé de Montseny, el día 29 de mayo pasado. Estaba muy nublado, con viento del Este que arrastraba grandes masas de aire húmedo con espesa niebla. Se hicieron varias emisiones por la mañana y por la tarde, y se comprobó siempre que a los pocos segundos de formada la niebla artificial se iniciaba la llovizna, puesto que al estar mezcladas las nieblas natural y artificial conforme se iba formando ésta, era de esperar que inmediatamente se notasen los efectos.

A los pocos minutos se notaba que en una zona mucho más amplia que la directamente afectada por la niebla artificial quedaba la atmósfera despejada, al extremo de llegar a verse el cielo azul durante dos a cinco minutos, según los casos. Luego volvía a invadir el espacio la niebla procedente del mar.

DEDUCCIONES

Como resumen y consecuencia de los puntos señalados, deducimos que una dispersión de productos fumígenos higroscópicos e ionizables, con marcado carácter electronegativo actúa como agente provocador de la lluvia, debido a los núcleos de condensación que se producen y esparcen rompiendo el equilibrio de tipo coloidal de la nube.

Cuando la nubosidad se halla a más de 1.000 metros de altura se nota la lluvia a los diez minutos de haberse formado la niebla artificial, pero si ésta se hace en la nube o en la niebla, el fenómeno tiene lugar a los pocos segundos.

Cuando termina de llover se ha podido apreciar que la atmósfera queda despejada en un círculo mucho mayor que el espacio directamente afectado por la niebla (artificial).

Ha podido apreciarse una corriente ascendente de aire que puede atribuirse al calor cedido por el agua al pasar del estado de vapor a la fase líquida, al calor de reacción del ácido clorosulfónico con el agua y también al calor desprendido por la mezcla «Berger».

Recordando lo dicho al principio sobre la composición química de los núcleos de condensación y teniendo presente que el ácido clorosulfónico contiene los elementos que, al reaccionar con el agua, producen los iones *cloro* y *sulfúrico*, excelentes agentes de condensación, nos encontramos que reúne la particularidad de ser altamente higroscópico, y que al ionizarse nos proporciona dos iones de marcado carácter electro negativo, condiciones óptimas para el fin que perseguimos.

La cuestión expuesta plantea la necesidad de formar un programa de trabajo para determinar y resolver cuestiones parciales como son: conocer las condiciones meteorológicas más favorables —relación entre la cantidad de fumígeno empleado y cantidad de lluvia lograda, extensión a la que alcanzan los efectos de la emisión, realizar observaciones pluviométricas al objeto de comparar los resultados obtenidos en las distintas condiciones meteorológicas y en diferentes terrenos, etc.—, para, con todos estos datos, tener elementos de juicio para determinar si es aconsejable el sistema de provocación de lluvia que se propone.

En caso de obtenerse resultados satisfactorios hay que pensar en el problema jurídico que se plantea, ya que no es posible dejar a merced de la iniciativa privada la emisión de nieblas para los fines propuestos. Con mucha razón se daría ocasión a decir *nunca llueve a gusto de todos*, pues es necesario armonizar intereses en beneficio del bien común.

El organismo que tuviera por misión regular la provocación de la lluvia, apreciaría y designaría las zonas más necesitadas de lluvia y en las que se debie-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ran aprovechar las condiciones favorables para hacer llover.

Las emisiones pueden hacerse desde aviones o desde tierra. Es preferible este método en las zonas montañosas como las de los embalses del Pirineo, y se debe dejar el empleo del avión para otra clase de terrenos.

El autor tiene estudiados diferentes tipos de emisores, alguno de los cuales está pendiente de fabricación, y en plazo breve estará en condiciones de usarlo.

En el litoral mediterráneo se producen en determinadas épocas corrientes de convección que arrastran aire húmedo que podría aprovecharse en una faja a lo largo de la costa, antes de que esa nubosidad se diluya conforme penetra en el interior más seco. Algo parecido ocurre en las costas occidentales de África, donde podrían provocarse lluvias en una zona de unos kilómetros en los que se aprecia nubosidad sin que llegue a llover. Se debe hacer un estudio de nuestras posesiones de África y determinar si es posible modificar las condiciones agrícolas del suelo para incrementar su fertilidad.

Otro lugar digno de tomarlo en cuenta es el Teide, donde se forma el conocido y ya estudiado «mar de nubes», excelente laboratorio de investigación para ensayar los efectos de los agentes provocadores de lluvia, pues, aunque la cantidad de agua existente en dicho mar de nubes no sea grande, es lo suficiente para fines de experimentación y para deducir interesantes consecuencias.

El hecho observado cuando las emisiones se hacen dentro de la niebla, primeramente, la producción de lluvia y, después, el que por efecto de las corrientes ascendentes de aire se despeje la atmósfera, hace pensar en la posibilidad de utilizar este sistema de emisiones para disipar la niebla de los aeródromos, preferentemente con las candelas tipo «Berger», porque el ácido clorosulfónico no es recomendable por su toxicidad, ante el peligro de que fuese arrastrado hacia lugares ocupados por el público, servicios y dependencias diversas del aeropuerto.

RESUMEN

Se enumeran a continuación los puntos que pueden considerarse como conclusiones de este trabajo:

1.º Se establece una teoría para provocar la lluvia, basada en la ruptura de equilibrio de tipo coloidal que presentan las nubes, cuando se produce la mezcla de otra dispersión coloidal de cuerpos higroscópicos e ionizables, en la que los iones tienen marcado carácter electronegativo.

2.º Es preciso, para obtener resultados prácticos, que haya nubosidad apreciable.

3.º Se propone, como agente específico para producir núcleos de condensación y provocar la lluvia, el ácido clorosulfónico, además de las mezclas tipo «Berger».

4.º Los resultados prácticos que podrían alcanzarse son los siguientes:

a) Provocar la lluvia en las comarcas en que no obstante haber nubosidad, no llovería sin la acción catalizadora del fumígeno.

b) Evitar la concentración de grandes masas de nubes de desarrollo vertical que producen graves perjuicios cuando descargan en una misma vertiente.

c) Aprovechar los vientos de convección que arrastran aire húmedo en el litoral mediterráneo.

d) Aprovechar, igualmente, los vientos del Oeste que en las costas occidentales de nuestros territorios de África arrastran masas de aire húmedo.

e) Conseguir precipitaciones en la Isla de Tenerife.

f) Estudiar la forma de aplicar este tipo de emisiones de fumígenos a la disipación de nieblas de los campos de aterrizaje.

* * *

Era mi deseo traer al Congreso de Ingeniería un trabajo más acabado, pero me lo ha impedido la falta de medios para ampliar mis investigaciones y ensayos, por no haberse resuelto determinados trámites oficiales relacionados con la concesión de una consignación para ello.

La parte de ensayos que conviene realizar debe hacerse con la colaboración de aquellos organismos que, de manera directa o indirecta, están interesados y a los que afecta esta clase de problemas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Ante la urgencia de encontrar soluciones a las dificultades que ha creado la falta de agua de lluvia en España, tanto por cuanto afecta a la agricultura como a las fuentes de energía hidroeléctrica, no he vacilado en concurrir a este Congreso con mi modesta aportación inspirado en nuestro lema «Todo por la Patria».

Barcelona, mayo de 1950.

El Sr. Ballester interviene y dice que el Sr. Castán, según el trabajo leído, ha ensayado con buen éxito el ácido cloro-sulfónico para hacer precipitar en días despejados, lo que supone haber encontrado un núcleo de sublimación (según la teoría Bergeron-Findeinsen), aunque no parece haberlo advertido; en otras palabras, resulta que ha provocado el paso de vapor de agua directamente al estado sólido; no es cuestión, pues, del conocido fenómeno catalítico entre gotas existentes en subfusión. Como quiera que en América, Francia, etc., no se ha encontrado en los experimentos otro núcleo de sublimación que el $Cd\,I_2$, de lo que resulta que de estar bien hechas las pruebas del Sr. Castán, éste ha descubierto, sin saberlo él, hasta ahora, un segundo núcleo de sublimación, lo que debe hacerse constar, por su importancia.

Ante la crítica de que la lluvia artificial necesita la elevación del germen a una altura de 5.000 m., añade que, en otro trabajo por él presentado, número 175, "Lluvia artificial", formuló la posibilidad de producir lluvia por una reacción en cadena por encima de los 0° C., es decir, a una altura muy inferior a los 5.000 m.; cosa que se fundaba en efectos de enfriamiento muy por bajo de los 0°, en particular, a 32° bajo cero.

Contesta el Sr. Castán diciendo que los procesos de emisión previstos son dos: en las zonas montañosas, en que es peligroso el vuelo en avión, se ha pensado en emisiones proyectadas en cotas altas para ponerlas cerca de la masa de nubes; y en terrenos tales como la meseta castellana, valiéndose de aviones.

El Sr. Presidente manifiesta que ha oído con mucha complacencia el trabajo del Sr. Castán, al que hay que felicitar por sus experimentos y descubrimientos, y concede la palabra al Sr. Ballester, quien antes de leer su trabajo en colaboración, dice: que antes de empezar, por una sugerencia que se le ha hecho acerca de que en el trabajo que va a exponer a continuación no parezca un capítulo dedicado al tema campo eléctrico como se había anunciado en el resumen, ha de exponer lo siguiente: En efecto, una partícula electrizada de radio R cargada en un campo E, que cae en el seno de una nube de gotitas de radio medio r, barre eléctricamente un cilindro de radio D notablemente mayor que R.

La ventaja debido a este efecto es:

$$\frac{\pi D^2}{\pi R^2} = \left(\frac{18\, p^2 \cdot E^2 \cdot r^2}{\pi \mu \cdot g \cdot} \right)^{1/3} \cdot \frac{1}{R}$$

Presenta unas curvas obtenidas por M. Pauthenier muy elocuentes, mas manifiesta que tiene sus dudas: la velocidad de caída de las gotas deducida por consideraciones mecánicas, debe estar de acuerdo con la deducida por consideraciones electrodinámicas. Declara tener experiencia personal de un caso concreto. Además, dice

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que la obtenida por Pauthenier consiste, según ha podido deducir en gotas de bruma, cosa que no nos sirve; la lluvia no se habrá de producir hasta que las gotas alcancen un tamaño grande apropiado. Por estas razones desistió de hablar de este tema en su trabajo, el cual debe quedar sujeto a investigaciones posteriores.

Terminada la ponencia se le sugirió que del examen de un mapa pluviométrico de España se deduce que los mínimos de lluvia ocurren en la confluencia de ciertas ríos y que podrá estar ligado ello a fenómenos de ionización. Toma en consideración lo dicho, pero advierte que el mapa que se le presenta como argumento lo conocía, ya que no le merece mucho crédito; cree obligada una revisión y añade que, por otra parte, en las confluencias suele haber efectos "FOEHN", vientos catabáticos, que agotan la nube.

Se lee el trabajo de los Sres. Ballester y Marín, que es el siguiente, núm. 175:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

N.º 175. - LLUVIA ARTIFICIAL

Autores:

D. HERMENEGILDO MARÍN ARÁEZ

Ingeniero Aeronáutico y

D. MIGUEL BALLESTER CRUELLAS

Metereólogo

SUMARIO

Pocos acontecimientos científicos han gozado de la espectacularidad y han sido perseguidos con tanto interés como el de la LLUVIA ARTIFICIAL. Como en las obras de Julio Verne, la imaginación ha desplegado sus alas adelantando unos hechos, por lo demás previsibles desde ahora, y de los que tratamos ahora de dar cuenta en lo posible de su actual estado y sacar utilidad.

El estudio del problema no difiere de los demás, en términos generales: Investigación teórica y experimental y pruebas directas de aplicación; pero difiere accidentalmente en lo relativo a la necesidad de especulación científica de argumentos, tesis y contrastación de resultados, pruebas en vuelo y terrestres. Escasean o faltan los criterios unánimes, y la técnica se dirige aún a la confirmación de hipótesis, puesto que las bases científicas se encuentran en período de evolución.

Hemos procurado resumir la bibliografía más moderna e idónea (inclusive de este año 1950), y la ordenación de este trabajo aparece como sigue: en el Capítulo I se ha procedido al planteamiento del problema teórico, con antecedentes y consideraciones termodinámicas, puro texto académico de inconmovible lógica físico-matemática. En el Capítulo II se resumen pruebas de interés directo y técnicas operatorias. En el III se da a conocer otra técnica, algo más reciente, con generadores terrestres, ya que en el II lo eran aeronáuticos. Tratan ambos, pues, del procedimiento conocido por el nombre de «siembra» o depósito en la nube de un agente catalizador que provoque la precipitación. Se refiere el Capítulo IV a la mención sucinta de los trabajos más modernos sobre el resultado que, en los laboratorios, han dado por núcleos especiales de formación de hielo, que señalan «umbrales térmicos» de gran realidad. En el V figuran las siembras a temperaturas superiores a 0 grados, de cierta revolución en los principios científicos, y se muestra

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la posibilidad de producir reacciones en cadena. En el Capítulo VI pasamos ya a establecer criterio para la realización: elección de áreas apropiadas y época adecuada para una campaña de lluvia artificial en España. El programa de la cual se detalla en el VII, al que sigue un capítulo final, de conclusiones.

I

Comenzaremos con el resumen de algunas nociones de Termodinámica de la atmósfera, las cuales nos darán una visión de conjunto del problema de la lluvia artificial, y, al mismo tiempo, nos harán vislumbrar ciertos fenómenos perfectamente previsibles, desde el punto de vista de la pura teoría, y que concuerdan con los resultados obtenidos experimentalmente.

Este resumen lo hacemos siguiendo en parte el libro *Termodinámica de la Atmósfera*, de D. Francisco Morán, de quien tomamos asimismo algunos gráficos.

Veamos, pues, lo que nos dice la Termodinámica respecto a la condensación y sublimación del vapor de agua en la atmósfera.

Si se enfría una masa de aire que contiene vapor de agua con cierta tensión de vapor E, llega a alcanzarse una temperatura para la que tal tensión es saturante. Esta temperatura es el punto de rocío correspondiente a esa tensión de vapor. Si el vapor se encuentra en contacto de una masa de agua, cuya superficie de separación es plana, a tal temperatura comienza a condensarse el vapor de agua sobre dicha superficie. Si el vapor no se encuentra ante una superficie plana de agua, puede alcanzar el punto de rocío y temperaturas más bajas sin que se produzca la condensación. Tal estado de equilibrio metastable se llama de sobresaturación.

Similarmente, si un sistema agua-vapor es enfriado se alcanzará cierta temperatura: punto de congelación (0° C) en la que toda la fase líquida debe pasar a fase sólida. Sin embargo, si el agua no se pone en contacto con cristales de hielo, puede permanecer a esa temperatura y aún a otras mucho más bajas, en estado líquido. Este estado metastable se llama de sobrefusión.

Asimismo, una masa de aire, con tensión de vapor menor que la tensión saturante a 0°, no alcanzará por enfriamiento el punto de rocío, pero si continuamos enfriándola por debajo de 0°, alcanzará temperatura a la que su tensión será saturante con respecto al hielo: punto de sublimación. Si el vapor no se encuentra en contacto con hielo, puede, sin embargo, suceder que el vapor no comience a sublimarse aunque descienda más la temperatura. También puede suceder, y de hecho así sucede, que si el vapor se encuentra en contacto con agua en sobrefusión, comience a condensarse sobre ella, si bien esto sucederá a temperatura más baja que el punto de sublimación.

La formación de nubes en la atmósfera puede obedecer a varias causas: mezcla de una masa de aire muy húmeda con otra más fría; enfriamiento adiabático de una masa de aire al ascender, expansionándose, en la atmósfera, etc., etc. Es de notar que, como condensación y congelación suponen liberación de grandes cantidades de calor, de no ser absorbido este calor (en el caso de ascendencia adiabática por continuar la masa de aire ganando altura) la condensación o congelación se verá detenida. Este hecho actúa como autorregulador del proceso.

En el caso de formación de nubes por ascenso adiabática, el proceso de formación se explica por el esquema de Belzold, que describimos a continuación.

Esquema de Bezold.—Prescinde Bezold, para trazar su esquema, de las anomalías a que antes nos hemos referido, y supone que, alcanzados los puntos de rocío y de congelación, se producen, a fortiori, la condensación y la solidificación, respectivamente.

Zona seca.—La masa de aire húmedo gana altura expansionándose adiabáticamente; ascenso debido a determinadas condiciones de inestabilidad. Prosigue la expansión hasta llegar al punto de rocío.

Zona de lluvia. El vapor comienza a condensarse y cede su calor latente. Éste elevaría la temperatura de la masa de aire e interrumpiría la progresiva condensación, pero como continúa el ascenso, el calor latente es transformado íntegramente en trabajo de expansión. La masa de aire continúa enfriándose, si bien en proporción menor, siguiendo una adiabática saturada. Esta zona tiene como cota superior la isoterma de 0°.

Zona de granizo.—Al llegar la masa de aire en su ascenso a los 0° de temperatura, comienza la congelación de las gotas líquidas, por lo cual, y debido a que

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

se libera el calor latente de fusión, la temperatura no desciende de los 0° hasta que desaparece el agua líquida.

Zona de nieve:—Congelado todo el líquido, la ascensión adiabática vuelve a hacer bajar la temperatura y el vapor ahora, en lugar de condensarse, se sublima en forma de cristales de nieve.

FALSEDAD TERMODINÁMICA DEL ESQUEMA DE BEZOLD: ESTUDIO TERMODINÁMICO DE LA CONDENSACIÓN.—El esquema de Bezold parte de dos hipótesis que la experiencia demuestra que son falsas; a saber: suponer que el vapor se condensa al llegar al punto de rocío y afirmar que las gotas se congelan al alcanzar los 0° de temperatura prescindiendo de los fenómenos de sobrefusión.

Veamos cómo los hechos experimentales a los que aludimos concuerdan con el estudio termodinámico del fenómeno en la condensación.

La fase líquida de un sistema agua-aire está sometida, aparte de la presión que afecta a todo el sistema (y que, a su vez, se compone de las dos presiones parciales: la del aire y la tensión de vapor), a una serie de acciones internas que se comportan como nueva componente de presión. La Termodinámica nos hace ver que esta presión total a que está sometido el líquido afecta a la magnitud de la tensión de la tensión de vapor saturante. Es decir, que $E = f(P, T)$ y no sólo función de la temperatura, como supone Bezold.

Hacemos ahora que una partícula de agua de peso unitario recorra el ciclo termodinámico, isotérmico y reversible de la fig. 1 (el ciclo será reversible por consistir en una sucesión de estados de equilibrio). Se presupone que E es función de P (a expensas de confirmarse o no en la demostración esa dependencia). La partícula se transforma de líquida (a la presión P') en gaseosa (a la tensión de vapor E' correspondiente a P'). Se expansiona el vapor desde la presión E' a la presión E; se vuelve a hacer pasar el vapor a líquido (a la presión P, correspondiente a la tensión E); y la partícula líquida, ahora, se comprime desde P a P'. Según el Segundo Principio, por tratarse de un ciclo isotermo y reversible, su área total debe ser nula. Esta consideración nos determina la dependencia de E con P. Esta ley, una vez efectuadas la integración y haciendo uso de la ley de los gases perfectos, queda en la forma

$$\frac{\triangle E}{E} = \frac{D}{R'T}$$

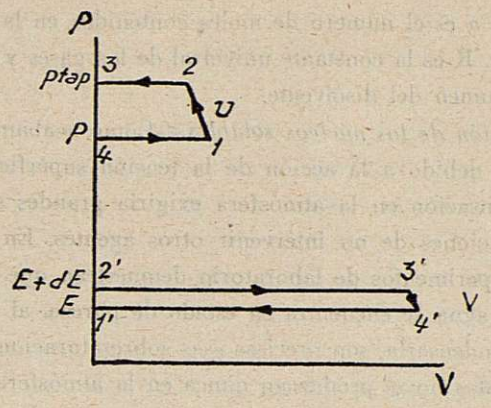


Fig. 1
Ciclo termodinámico para estudiar la variación de la tensión del vapor saturante en la presión interna del líquido.

$$R' = 4{,}6 \cdot 10^6 \text{ erg/gramo}$$

p es la componente de presión que actúa sobre la fase líquida, el incremento de la tensión de vapor $\triangle E$ es el correspondiente a la presión incremental $p \cdot \triangle E$, es despreciable cuando entran en acción presiones del orden de magnitud de las atmosféricas. Sin embargo, cuando entran en juego tensiones tan considerables como las que aparecen en gotas microscópicas, el valor de $\triangle E$ puede llegar a ser considerable.

Tensión superficial.—La tensión superficial da lugar a un incremento de presión en las gotas, que es directamente proporcional a dicha tensión superficial e inversamente proporcional al radio de la gota. Esta presión interna llega a ser, para gotas de un diámetro de 10^{-7} cm., de un valor de $150 \cdot 10^7$ din/cm^2; esto da lugar a que $\triangle E = 1{,}14 \cdot E$.

Es decir, que para producir la condensación en una gota de ese tamaño, es preciso que la tensión de vapor sea más del doble de la saturante con respecto a una superficie plana de agua. Ahora bien, el mecanismo de la condensación, si no existe fase líquida, tendría que iniciarse sobre agrupaciones moleculares, es decir, gotas de orden de magnitud de $2 \cdot 10^{-8}$, y, por tanto, se requerirían enormes sobretensiones que, desde luego, nunca se producen en la atmósfera.

Presión osmótica.—Es sabido que las moléculas de un soluto ejercen presión de dentro afuera en el seno

FUNDACIÓN JUANELO-TURRIANO

de un disolvente; dicha presión, cuando la disolución no es muy concentrada, viene dada por la fórmula

$$-P_{os} = \frac{n\,R\,T}{V_s}$$

donde n es el número de moles contenidos en la disolución, R es la constante universal de los gases y V_s es el volumen del disolvente.

Acción de los núcleos solubles.—Como acabamos de decir, debido a la acción de la tensión superficial la condensación en la atmósfera exigiría grandes sobresaturaciones de no intervenir otros agentes. En efecto, experimentos de laboratorio demuestran que cuando el agua se encuentra en estado de pureza, al intentar condensarla, son precisas esas sobresaturaciones. El que éstas no se produzcan nunca en la atmósfera confirma la hipótesis de que, en efecto, existen estos agentes. En efecto, existen núcleos llamados de Aitken con radio comprendido entre 10^{-6} y 10^{-5}, que intervienen decisivamente en el proceso de la condensación.

En general, estos núcleos son solubles en el agua y su acción se explica, en tal caso, por la acción de la tensión superficial. En efecto, si se tiene en cuenta la acción de la tensión superficial y de la presión osmótica en una gotita de agua en la que se halla disuelto un núcleo de Aitken, la tensión de vapor saturante será

$$h = 100\ (1 + a/r - b/r^3) \qquad [1]$$

h es la humedad relativa en % de la saturante con respecto a la superficie plana de agua.

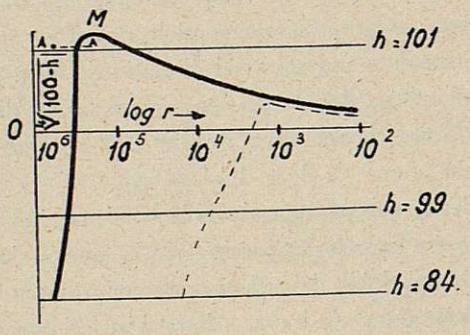


Fig. 2
Curvas de variaciones de la tensión saturante con el radio en los núcleos solubles.
(La curva de trazos corresponde a $b = 2 \times 10^{-14}$ cm³, la curva llena corresponde a $b = 10^{-18}$ cm³.)

El valor de a puede considerarse independiente de la naturaleza y del tamaño del núcleo, y su valor normal es $a = 1{,}19 \cdot 10^{-7}$ cm. En cambio, b depende de la naturaleza y del tamaño del núcleo de condensación; oscila entre el valor $b = 2{,}94 \cdot 10^{-14}$ cm³ (para los núcleos de sal común que son muy corrientes, conforme expondremos más adelante) a $b = 10^{-18}$ cm³.

La ecuación [1] se representa gráficamente en la figura 2 para ambos valores extremos de b. Como abscisas se ha tomado el radio en escala logarítmica y como ordenadas $y = \pm \sqrt{(100\text{-}h)}$ con objeto de agrandar extraordinariamente la zona correspondiente a humedades próximas a 100, que son las de mayor interés.

Estas curvas presentan las siguientes características generales: La curva tiene, para abscisas muy pequeñas, valores negativos; por no tener esto significado físico prescindiremos de esta porción de la curva. A partir de un valor de r, para el cual h es cero, la curva presenta valores de h crecientes con r hasta llegar a un máximo h mayor que 100. Máximo que es tanto menor y corresponde a un valor tanto mayor de r cuanto mayor es b; la curva, a partir de este máximo, decrece asintóticamente hacia la abscisa $h = 100$ y quedan las curvas de mayor b por debajo de las de menor b.

La curva ascendente se llama de equilibrio estable, pues si una gota crece de tamaño, su tensión saturante es mayor que la ambiente y, por tanto, vuelve a su tamaño de equilibrio. En cambio, la rama descendente es de equilibrio inestables, según se deduce inmediatamente.

Teoría del crecimiento continuo de las gotas.—Los núcleos solubles se encontrarán siempre en el seno de una gotita, pues, por pequeña que sea la humedad relativa, ya hemos visto que existe un radio de equilibrio. Al aumentar la humedad del aire va aumentando el tamaño de las gotas hasta alcanzar la humedad máxima h_M. A partir de este instante desaparece el equilibrio por resultar la tensión de vapor superior a la saturante. Se inicia así rápido crecimiento de las gotas hasta que éstas absorben la cantidad de agua suficiente para que baje la tensión de vapor ambiente hasta igualarse con la saturante correspondiente y se restablece el equilibrio; este punto de equilibrio se llama segunda estabilización. En este punto las gotas que, por cualquier causa, tienen tamaño menor que el de equilibrio, tienden a desaparecer; en cambio, las mayores de la media tienden a crecer.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Teoría termodinámica de la congelación. —El agua puede conservarse líquida muy por debajo de 0° en un estado de equilibrio metastable, siempre que no se encuentre en contacto con hielo. La tensión de saturación del vapor de agua sobre una superficie plana de agua en sobrefusión, viene dada por una curva que es prolongación de la curva de equilibrio agua-vapor. Como ya se dijo, el agua en sobrefusión no puede existir en contacto con partículas de hielo o de cristales del sistema hexagonal. Estos fenómenos son atribuíbles a la misma causa que impide la condensación del vapor de agua, cuando éste no se encuentra en contacto con agua líquida. En este caso interviene la tensión superficial sólido-líquido que actúa como presión adicional sobre la fase sólida.

Similarmente, enfriando vapor de agua que aún no se encuentra saturado a 0°, al llegar al punto de sublimación no se produce ésta, debido a entrar en acción la tensión superficial sólido-vapor.

En la fig. 3 aparecen representadas las curvas de equilibrio sólido-líquido-vapor en torno al punto triple. Cuando entran en acción causas tales como el efecto crioscópico o la tensión superficial, que afectan a la magnitud de la tensión saturante de vapor sobre el líquido, o sobre el sólido, las curvas de equilibrio líquido-vapor, o sólido-vapor, respectivamente, quedan desplazadas paralelamente a sí mismas, y también desplazado el punto triple.

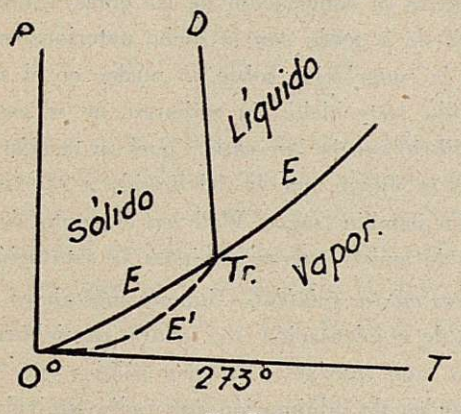


Fig. 3

Como se deduce de la fig. 3, las tensiones de saturación, salvo en el punto triple, son distintas para el hielo y para el agua. Existen, por tanto, dos humedades relativas: la h, respecto al agua, y la h', con respecto al hielo. Esta última es mayor que la primera por quedar la curva del hielo por debajo de la del agua. Se comprende, por tanto, que no pueden coexistir la fase sólida y la líquida aunque se encuentren en contacto, pues las distintas tensiones de vapor harán que se sublime el vapor de agua sobre el hielo mientras se evapora en la superficie del agua líquida. Esta es la razón por la que no se forman nieblas sobre terreno nevado.

Teoría de la sublimación directa. Núcleos de sublimación.—Se encuentra en discusión, si el vapor de agua en las nubes, por debajo de 0°, comienza a sublimarse sobre núcleos adecuados para ello, o si, por el contrario, la sublimación ocurre sobre los cristales de hielo procedentes de la congelación de los núcleos de condensación.

Findeisen defiende la primera teoría. Los núcleos de condensación no son, según él, aptos para congelarse y servir como núcleos de sublimación, pues por tratarse de disoluciones muy concentradas, el punto de congelación, a causa del efecto crioscópico, es muy bajo. Por tanto habrá que suponer la existencia de núcleos especiales de sublimación.

Respecto a estos núcleos se creyó en un principio que eran de origen cósmico, pero hoy, dado que su número disminuye con la altura, se cree proceden de la superficie terrestre.

El efecto de estos núcleos no es de volumen, no puede, claro es, ser efecto crioscópico; se admite que su acción es debida a las fuerzas moleculares que intervienen, por ser el sistema de cristalización de estos núcleos análogo al del agua.

Los núcleos de sublimación abundan muchísimo menos que los de condensación (de 10^{-3} a 10 por cm^3). A veces, faltan casi en absoluto. Parece ser que no todos los núcleos de sublimación son de la misma naturaleza. Unos, producen la sublimación entre —12° y —16° C.; otros, la producen entre —25° y —35° C.

Respecto a su comportamiento, no es posible darlo en una fórmula algorítmica sencilla, como sucede con los de condensación. Actúan, sin llegar a anularla, sobre la tensión superficial. El efecto de estos núcleos en la condensación es prácticamente nulo. Una vez iniciada la sublimación, desciende la magnitud de la tensión de vapor saturante; es decir, que la curva de equilibrio no tiene rama estable, y los cristales dejan de crecer al producirse la segunda estabilización.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Formación de nubes de hielo, de acuerdo con la teoría de la sublimación directa.—Si una masa de aire se va enfriando por debajo de 0°, se llega a una temperatura en la que la humedad relativa coincide con el valor de h'_M (de saturación sobre los núcleos de sublimación). En general, cuando esto sucede, la humedad relativa con respecto al agua será inferior a 100. Iniciada la sublimación bajará la humedad relativa h' a valores poco por encima de 100.

Debido a la escasez de núcleos de sublimación y a lo pequeño de la tensión saturante respecto al hielo, los cristales que se forman son pocos y de gran tamaño. Las nubes de hielo son, pues, poco densas y de gran visibilidad.

Si los núcleos de sublimación son muy escasos, los cristales pueden alcanzar grandes tamaños y caer. En este caso, al no existir ya posibles núcleos de sublimación, aumenta la humedad relativa y, poco después, comienza la condensación sobre los núcleos higroscópicos, y queda, por tanto, transformada la nube de hielo en nube de agua.

El proceso inverso posible es el de una nube que comienza a formarse por encima de 0°; y que, por continuar su ascensión, alcanza temperaturas más bajas de 0° y llega un momento en el que la tensión de vapor, que es saturante con respecto a las gotitas es, en cambio, sobresaturante con respecto a los núcleos de sublimación. En tal caso, se produce la destilación total de las gotas en los cristales de hielo.

TEORÍA DE LA CONGELACIÓN SECUNDARIA.—Contrariamente a Findeisen, afirma Wall que los núcleos de condensación son también apropiados como los núcleos de sublimación. Expresa esta aptitud por el radio que necesita tener una gota de agua pura o un grano esférico de hielo puro para dar la misma tensión saturante que el núcleo en cuestión. Es decir, que, según Wall, un determinado núcleo de condensación tendrá un radio equivalente r_a para la condensación, y un radio equivalente r_h para la sublimación. En general, $r_a \geqslant r_h$.

Núcleos que actúan en la congelación.—Ya se dijo, al hablar de la sobrefusión, que si la congelación no se producía, ello era debido al exceso de la tensión superficial del sólido sobre la del líquido. Dicho de otra forma, la tensión superficial sólido-vapor da lugar a un desplazamiento de la curva de equilibrio sólido-vapor; similarmente, la tensión superficial líquido-vapor desplaza paralelamente a sí misma a la curva de equilibrio líquido-vapor. Como ambos desplazamientos son de distinta magnitud, se origina un desplazamiento de la abscisa del punto triple; desplazamiento que viene dado por

$$\Delta T_f = -2 \cdot 10^{-6} \cdot 1/r$$

Núcleos mixtos no solubles.—Las consideraciones hechas en el párrafo anterior son válidas, asimismo, cuando, en vez de tratarse de la solidificación de una gota de agua pura, se trata de una gota que engloba en su seno un núcleo mixto de radios equivalentes r_a y r_h. En este caso, los descensos de las curvas sólido-vapor y líquido-vapor vienen dadas por las mismas fórmulas de aplicación, en el caso de una gota pura; pero substituyendo el radio real del núcleo por sus dos radios equivalentes r_h y r_a, respectivamente. Dichas fórmulas son:

$$\frac{\Delta h'}{100} = 1{,}4 \cdot 10^{-7} \frac{1}{r_h} \qquad \frac{\Delta h}{100} = 1{,}2 \cdot 10^{-7} \frac{1}{r_a}$$

Al ser $r_a \neq r_h$ (en general siempre $r_a > r_h$) las curvas ya no se cortarán en la abscisa $t_f = 2 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{r_h}$ sino a una temperatura muy inferior.

Wall supone, sin embargo, que para tal temperatura comienza la congelación de las gotas líquidas; lo cual está de acuerdo con lo dicho anteriormente respecto a la congelación sobre un núcleo en el seno de un líquido (este hielo, sin embargo, no se encuentra en equilibrio con la fase-vapor, pues su tensión de saturación es mayor que la del líquido a esa temperatura). En cambio, según Wall, en el punto de intersección de ambas curvas comienza la saturación.

Núcleos mixtos solubles.—Supongamos ahora que los núcleos de condensación son ahora parcialmente solubles y que quedan partículas sólidas que actúan como núcleo de sublimación con radio equivalente r_h.

La presión osmótica, que es función del radio de la gota, modifica la tensión de saturación y la temperatura de congelación. Por tanto, existirá una función que relacionará la temperatura de congelación con la magnitud de la tensión saturante. Si representamos gráficamente esta relación (fig. 4), vemos que

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de A a B se congelan las gotas de agua pura con una partícula en su seno de radio equivalente r_h. De B a C se congelan las gotas que contienen en su seno un núcleo mixto de características r_h y h_M En C comienza la sublimación siguiendo la curva correspondiente.

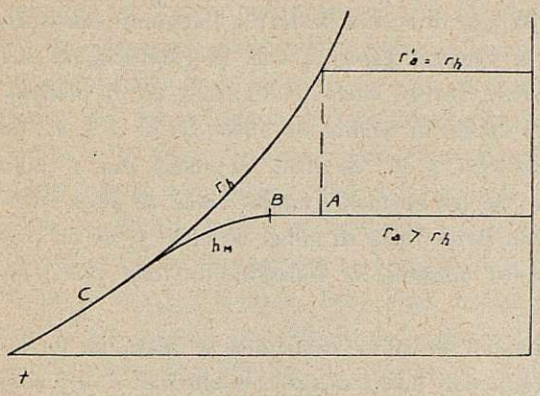


Fig. 4

PRECIPITACIÓN ATMOSFÉRICA.—No existe, como pudiera aparecer a primera vista, ninguna diferencia de constitución entre la gota de nube y la gota de lluvia. La única diferencia estriba en su tamaño. Las gotas de nube caen, pues, pero caen con velocidad tan insignificante que los más mínimos ascensos hacen que la gota gane altura. La fórmula aproximada, que liga la velocidad de caída con el radio de la gota dentro de los órdenes de magnitud de ambos que se dan en la práctica, es:

$$v = \frac{10^6}{\frac{0{,}787}{r^2} + \frac{503}{r}}$$

Findeisen supone, además, que para cada gota existe un recorrido máximo que es proporcional a la cuarta potencia de su diámetro, y que depende, además, de la humedad relativa de las capas que atraviesa. El radio de las gotas de las nubes oscila entre $4 . 10^{-4}$ cm. y 10^{-2} cm., y el radio de la gota de lluvia está entre los límites $5 . 10^{-2}$ y $3{,}6 . 10^{-1}$ cm.

La precipitación comenzará, por tanto, cuando, por alguna causa, las gotas crecen en la proporción necesaria.

Para explicar este crecimiento existen dos hipótesis:

TEORÍA DE LA DESTILACIÓN.—Se supone en ella que la precipitación es consecuencia de las destilaciones mutuas entre gotas de distintos tamaños o entre gotas y cristales de hielo.

TEORÍA DE LA COAGULACIÓN.—En ella se supone que las gotas de lluvia no proceden de las destilaciones mutuas entre gotas, sino de la coagulación de varias gotas. Asimila, para ello, la nube a una suspensión coloidal en la que las micelas son las gotitas. La precipitación se estudiará así como la coagulación del coloide. Esta coagulación se verá favorecida por la formación de dipolos eléctricos, debidos al campo magnético terrestre; por las fuerzas hidrodinámicas que se producen por el desplazamiento de la gota a través del aire; por los movimientos de turbulencia del aire, y, finalmente, por la pérdida de cargas eléctricas de las micelas.

II

Como resumen de toda la teoría expuesta en el primer capítulo, tenemos los siguientes hechos: Estados de gran sobresaturación son del todo improbables en la atmósfera, pues puede decirse que, en todos los casos, existen núcleos de condensación que inician aquélla. En cambio, los estados de sobrefusión son muy corrientes. Ahora bien, la condensación, debido, entre otras razones, a la abundancia de núcleos de condensación, da lugar a gotas de muy pequeño diámetro, y que, por tanto, raras veces motiva directamente lluvias. Éstas, según se explicó en el primer capítulo, se producen casi siempre por la intervención de cristales de hielo formados en las zonas superiores de las nubes. Si en dichas zonas, por la falta de núcleos de sublimación, se mantiene el agua en sobrefusión, no se producirá lluvia.

La siembra mediante substancias inorgánicas suministra núcleos apropiados para la sublimación, y, subsiguientemente, producirá en la mayoría de los casos lluvia. Veamos, pues, la técnica de dicha siembra.

SIEMBRA MEDIANTE NIEVE CARBÓNICA.—Cronológicamente ha sido éste el primer agente empleado. Su acción podemos considerarla primordialmente como de temperatura.

Schaefer, en 1946, comenzó a investigar la acción de distintas substancias reducidas a polvo sobre una niebla producida en el interior de una caja, a tempe-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

raturas entre 10° y 25° bajo cero: Una aguja enfriada en aire líquido produjo la sublimación y, consiguientemente, desapareció la niebla. Para obtener este efecto es preciso que la aguja se encuentre a temperaturas inferiores a —35°. Este efecto de sublimación producido por sólidos muy fríos lo llevó a ensayar partículas de nieve carbónica.

Estos trabajos, llevados en unión de Irving Langmuir, lo condujeron a la conclusión de que la película de aire frío producida en su descenso por una sola partícula de nieve carbónica podía producir en ciertos casos 10^{16} núcleos de hielo. Núcleos que si se encontrasen suficientemente esparcidos podrían precipitar 100.000 toneladas de nieve. Claro es que esto sería partiendo de que se diera a dichos núcleos la adecuada dispersión.

De acuerdo con la teoría termodinámica, una vez formados tales núcleos, la diferencia de tensiones saturantes de vapor entre la fase líquida y la sólida hará que rápidamente se evapore la fase líquida y se precipite sobre los núcleos de hielo. Además, por la misma razón, la tensión de vapor, una vez solidificada la nube, será menor que en sobrefusión. La consecuencia de ello es que se libera: 1.° El calor latente de fusión del agua que se congela, y 2.° El calor de evaporación del vapor de agua que se sublima. Este desprendimiento de calor motiva una elevación de temperatura que oscilará entre los 0,5° a 0,8°, con la consiguiente variación de la densidad del aire, lo que da lugar a aceleraciones de 2 cm./seg^2, y, por ende, a fuertes movimientos convectivos en el seno de la nube.

Sin embargo, estos movimientos, debido a la acción de la turbulencia y del campo gravitatorio, acaban transformándose en un aumento de la turbulencia de la nube, lo que origina gran disipación de los núcleos. La solidificación se extiende paulatinamente y, como consecuencia, gana en vigor la corriente ascensional. Al cabo de un minuto de iniciada la siembra, las velocidades ascensionales son del orden de un metro por segundo y la anchura del área afectada de 50 m. Cuando la anchura de la zona sembrada es del orden de magnitud de la nube, la dispersión continúa uniformemente, las velocidades assensionales llegan a 5 m/s. Los núcleos de sublimación son esparcidos por estos movimientos sobre la cima de la nube, mientras que los cristales formados van cayendo. Debido a estos movimientos de propagación interna, es suficiente efectuar la siembra por sendas paralelas distantes entre sí tres millas. Y, con ello, se consigue a completa solidificación de la nube en treinta minutos.

Resultados de los vuelos de siembra realizados por Irving Langmuir en los años 1946 *y* 1947, *en Schenectady.*—Bajo la dirección de Irving Langmuir, un equipo de la General Electric, con la colaboración del U. S. Army, realizó vuelos el 13, 23 y 29 de noviembre y el 20 de diciembre de 1946; el 6, 7 y 12 de marzo de 1947, y el 7 de abril del mismo año, y como resultado de los mismos, grandes áreas de altos estratos fueron convertidas en nubes de hielo y, en un plazo de unos minutos, se consiguió la total precipitación.

La siembra de nieve carbónica se realizaba en las nubes siguiendo líneas rectas o quebradas a pequeñas alturas sobre el nivel superior de la nube.

Las nubes más aptas eran las formaciones de altoestratos, que cubrían totalmente el cielo. Altocúmulos aislados fueron también sembrados, y aunque, asimismo, se iniciaba la formación de cristales de hielo y empezaba a caer nieve, se observó que los desplazamientos horizontales del aire en el seno de la nube producían, en nubes de poca extensión, la total renovación del aire de la nube cada cinco minutos y, en consecuencia, los fenómenos producidos eran menos persistentes y, por tanto, el rendimiento de la operación de siembra era menor.

Iniciada la formación de cristales de nieve, el fenómeno era perfectamente visible y se podía determinar perfectamente el área de solidificación sobrevolando a la nube y gracias al distinto comportamiento óptico de los cristales de hielo y de las gotas de agua. Así, si el área sembrada estaba entre el sol y el avión, aquélla aparecía clara sobre fondo obscuro, y si el avión se encontraba entre el sol y el área, ésta se veía obscura sobre fondo claro.

El área se ensanchaba poco a poco y adquiría a la media hora una anchura de 5 Km. Lentamente se iniciaba el movimiento descendente de la nieve y quedaba en el lecho de nubes una especie de cañón, y acababa por hacerse visible la superficie del suelo al través de la abertura.

Asimismo se observaba que a los tres o cinco minutos de iniciada la siembra, la cima de la nube co-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

menzaba como a hincharse en la proximidad del área sembrada, en forma de cumbres que emergían del nivel primitivo. Este efecto duraba unos minutos y desaparecía a continuación transformando todo en nieve.

Podemos explicar perfectamente estos fenómenos por la razón antes dicha de los movimientos ascensionales que origina el calor cedido por el agua al congelarse.

Otro fenómeno observado fué que se formaba nieve a consecuencia de la siembra, no sólo en el seno de la nube, sino en las capas de aire inmediatamente inferiores a la nube. La nieve producida así era visible desde tierra, con anterioridad a la procedente de la nube. Es lógico atribuir el fenómeno a que dichas capas están sobresaturadas con respecto al hielo y no con respecto al agua líquida. Esto hace posible efectuar la siembra volando por debajo de la nube. Los cristales formados son llevados al interior de la nube por las ascensiones que se producen. Experimentalmente, determinó Langmuir que el espesor de esa capa inferior de la nube, en la que era posible la siembra, era función de la temperatura del nivel inferior de la nube, a razón de 10 metros por cada grado bajo cero.

Una vez precipitada la nieve del área sembrada, en el claro dejado, se inicia una cierta actividad de formación de nubes y se forman a los 45 minutos algunos estratos que no cubrían totalmente el área y que, además, eran de muy pequeña densidad.

Como resultados finales tenemos: La cantidad de nieve carbónica empleada era, aproximadamente, de 1 Kg. cada 5 Km. El ensanchamiento de la línea de siembra es muy activo durante una hora y daba anchura de 8 Km. Si el lecho de nube es de un solo estrato, al cabo de media hora el cielo queda despejado.

La nieve producida no siempre llega al suelo; el que así suceda o no, depende del tamaño de los copos (el cual, a su vez, depende del recorrido de descenso por zonas saturadas), de la temperatura y humedad.

Utilización de las ascensiones orográficas para la siembra, utilizando nieve carbónica.—Es evidente que podrán utilizarse en invierno montañas elevadas para aventar las nubes desde sus laderas situadas a barlovento, aun antes de haber alcanzado aquéllas la isoterma cero. Al llegar dichas nubes, en su ascensión, al nivel de congelación, se producirán copos de nieve que, en su descenso, se transformarán en lluvias. Como en estas ascensiones el aire se mueve al través de dichas nubes, se hará preciso sembrarlas durante toda la lluvia.

Este tipo de siembra se realizó en Australia, en el año 1946, con muy buenos resultados.

Consideraciones sobre la siembra con nieve carbónica:

a) Uno de los medios de conseguir la evolución de un sistema en sobrefusión es someterlo a fuerte enfriamiento por debajo de los — 35° C. Ésta es la acción que se atribuye a la nieve carbónica, por tener ésta temperatura de — 78,5° C.

b) El tamaño de las partículas de nieve carbónica que se debe usar dependerá de los recorridos y tiempos de permanencia en el aire que se deseen. Así, en nubes de gran espesor y distribuídas en dos estratos se utilizarán partículas de dos centímetros de diámetro, mientras que para las siembras corrientes se utilizarán partículas de 0,2 a 1 cm. de diámetro.

c) La cantidad de nieve carbónica será de 1 Kg. cada 5 Km. Cuando el espesor de la nube es de más de 1.000 m., se doblará la cantidad.

d) Las sendas de siembra serán rectas, normales a la dirección del viento y distanciadas entre sí 8 Km. Esta distancia puede ser mayor cuando el espesor de la nube es más de 1.500 m.

Este tipo de siembra se realizó en Australia, en el año 1946, con muy buenos resultados.

Siembra con yoduro de plata.—Pequeñas partículas de plata sirven como núcleos para la transformación de agua sobre enfriada en hielo. La transformación es posible si la temperatura es de 4° a 8° bajo cero, según el tamaño de dichas partículas. La ventaja del uso del yoduro de plata es que su presión de vapor es tan baja que permanecerá en el aire sin desgaste alguno por tiempo indefinido. Así la siembra puede ser realizada a temperatura sobre cero y con la anticipación que se desee. Su acción es persistente. Por tanto, es posible bajo determinadas condiciones atmosféricas de inestabilidad, que, de hecho, son muy frecuentes, efectuar la siembra desde tierra. Los núcleos serán llevados por la ascensiones al seno de la nube. Aún mayores posibilidades ofrece el uso de ascensiones orográficas tal como lo hemos descrito anteriormente.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

La utilización del yoduro de plata como núcleo de sublimación está fundada teóricamente en el hecho de que este compuesto y el agua cristalizan ambos en el mismo sistema (lo cual, de acuerdo con lo dicho en el primer capítulo, es una condición favorable para la congelación) y que dentro del sistema presentaba el yoduro de plata analogía casi completa con la estructura cristalina del hielo, según se deduce de estudios comparativos de dichas estructuras con rayos X.

PRUEBAS REALIZADAS EN EL ÁREA DE PHOENIX EN EL VERANO DE 1948, POR IRVING P. KRICK.—En el verano de 1948, Irving P. Krick realizó una serie de siembras desde avión con nieve carbónica y yoduro de plata sobre las cuencas de los ríos Salt y Verde, y el riachuelo Tonto, de Arizona. Los resultados obtenidos son medidos por comparación entre los valores de la lluvia caída, caudal de agua y agua almacenada, con los que podían esperarse en las mismas circunstancias atmosféricas que se dieron en dicha campaña.

La cantidad de agua almacenada en los embalses correspondientes a dicha cuenca rebasada en 15.000.000 de metros cúbicos a la normal. Los resultados de la campaña se muestran en los gráficos adjuntos.

El gráfico superior de las condiciones meteorológicas muestra la isoterma de 0° y las curvas de humedad absoluta.

Los gráficos centrales dan la lluvia caída diariamente en las distintas vertientes.

Por último, los gráficos de la parte inferior dan los caudales de los ríos en pies^3/seg.

Como resultado de las observaciones realizadas se estimó que, en un 60 % de los casos, la siembra produjo la lluvia o la incrementó. En un 19 % era dudoso afirmar nada, y en un 15 % no se produjo lluvia.

Con objeto de valorar la eficacia de las operaciones de siembra y, al mismo tiempo, estudiar las condiciones meteorológicas más favorables para la misma, se hizo una clasificación de las condiciones meteorológicas a que se encontraba sometida el área de Phoenix, en seis tipos de tiempo. De ellos, sólo tres aparecían favorables para la misma. Para cada tipo de tiempo se calculó, por datos estadísticos de los últimos siete años, cuál era la lluvia media que podía esperarse. Como alguno de estos tipos de tiempo se daban con poca frecuencia, los valores medios obtenidos de las muestras estudiadas podían ser más pequeños que los que se hubiesen obtenido con más datos. Por tanto, se hizo una discusión estadística de los límites de confianza de la muestra y se estableció una media computada (mayor que la media obtenida directamente y que representa aquel valor que sólo tiene un 5 % de probabilidad de ser excedido por la media del universo estadístico).

Krick divide el período en que efectuó las siembras en etapas de seis días; tabula los valores de las lluvias obtenidas en dichas etapas y calcula la probabilidad de obtener la misma cantidad de lluvia sin efectuar la siembra. Los resultados aparecen en la siguiente tabla.

MESES	Tipo de tiempo	Precipitación total en 6 días	Probabilidad de ocurrir naturalmente la misma precipitación basándose en la media computada
Julio 2	B - A	.03	78 %
Julio 8	B - A	.00	100 %
Julio 14	B - A	.39	8 %
Julio 20	Bn	1.31	4 %
Julio 26	A - B	.28	34 %
Agosto 1	A	1.66	menos de 1 %
Agosto 7	58	.61	3 %
Agosto 13	B - A	.20	40 %
Agosto 19	B - A	.22	35 %
Agosto 25	A - B	.03	79 %
Agsoto 31	Bs	.02	—
Septiembre 6 ...	58	.66	70 %
Septiembre 12 ...	D	.41	32 %
Septiembre 18 ...	B - A	.05	74 %
Septiembre 24 ...	A - B	.21	42 %

En los períodos de siembra más intensa: 20-25 de julio (7 vuelos) y 1-6 de agosto (6 vuelos), la relación de lluvia obtenida a la media computada para ese tipo de tiempo es de 2,85 y 3,95, respectivamente, coeficientes que dan idea de la eficacia de la operación.

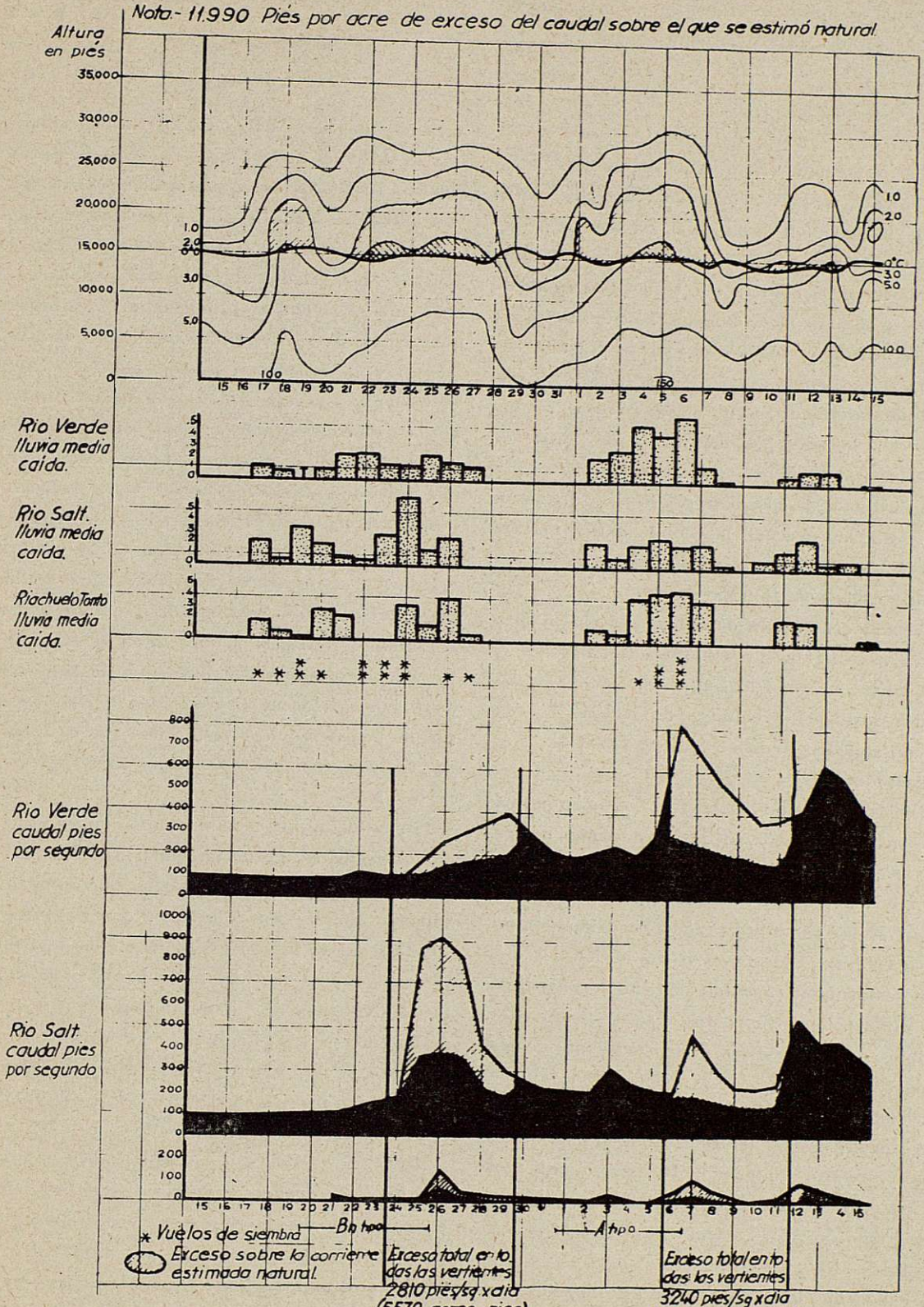
Otras aplicaciones de las siembras con nieve carbónica y yoduro de plata. — Respecto a la utilización de siembras de nieve carbónica y yoduro de plata, quedan por señalar algunos puntos:

Primero, la eficacia de la siembra con nieve carbónica para hacer evolucionar los «cúmulos congestus» tormentosos. Se utilizan para ello siembras muy concentradas. Parece ser que, por este sistema, se consigue disolver fuertes tormentas, sobre todo si la siembra se realiza cuando la tormenta se encuentra en estado incipiente.

Otra aplicación posible de estas siembras es la di-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Evaluación hidrometeorologica de las operaciones de siembra sobre las cuencas del SALT VERDE y TONTO 15 de Julio a 15 de agosto de 1948



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

solución de las nubes que producen enhelamiento en las alas de los aviones, lo que es causa de no pocos accidentes. Estas nubes se encuentran en sobrefusión y, gracias a la siembra, se transforman en nubes de hielo, con lo que desaparece el peligro.

III

El empleo de generadores de núcleos en tierra abre un procedimiento, de gran actualidad y patentes ventajas, para la fecundación de la nube. La idea se reduce a producir «humo» nuclear con determinadas substancias elaboradas de manera que sean susceptibles de arrastre hacia arriba por corrientes ascendentes. Previsto por las teorías y corroborado por la práctica, sabemos que éstas siempre tienen lugar debajo de las nubes de inestabilidad, cumuliformes; cosa, por lo demás, obvia, ya que, por definición, las nubes de desarrollo vertical se deben a inestabilidad del equilibrio del aire, que desencadena el ascenso. Aparte de este caso, cabe aprovechar las condiciones orográficas, es decir, las corrientes ascendentes por detención, sin obligada existencia de nube encima.

Esos aventados naturales de los núcleos los dispersa a altura considerables y distancias horizontales de muchos kilómetros, como lo comprueba, en los trabajos de identificación, el hallazgo de grandes concentraciones de aquéllos en sitios muy alejados de la estación generadora.

Las pruebas previas de laboratorio consistieron, más o menos, en lo siguiente: se introdujo humo nuclear (en este caso, AgI) en la cámara de enfriamiento, que contenía inicialmente una nube de agua en subfusión; se expusieron placas o preparados para análisis microscópico en forma que cayeran sobre ellas los cristales que se formaran; pasado el tiempo conveniente para su caída total se procedió a su recuento en el microscopio. A partir de las dimensiones de las placas, de las de la cámara, de la velocidad de alimentación del generador, etc., se hizo un cómputo del número de cristales que se podrían producir por unidad de tiempo, y resultó ser $6{,}26 \times 10^{12}$ por minuto; expresado en otros términos, supone $0{,}83 \times 10^{13}$ cristales por gramo de AgI. La temperatura de la cámara osciló entre -18 y $-16°$.

Como exponente de la eficacia de este método, citemos que, según Krick, en las pruebas realizadas en el valle del río Tonto, en Arizona, las medidas arrojadas por siete estaciones pluviométricas indicaron que se habían triplicado los resultados calculados.

IV

En el Congreso Meteorológico Internacional de Lisboa de 1933 el meteorólogo noruego Bergeron dió a conocer su teoría de la precipitación, un buen éxito casi universal, según la cual, aquélla en su origen debe ser sólida y conservar o no ese estado al llegar al suelo. Años más tarde, arrojó inesperadamente, nuevas luces una solución al problema de la formación de hielo en los aviones. Ahora subrayamos nada más que merced a la existencia de dos curvas de equilibrio, vapor-líquido y vapor-sólido, por debajo de 0°, y por ser la tensión saturante en estos casos menor que en aquéllos, la simple existencia de un cristal de hielo en una nube de gotas en subfusión podrá producir el depósito del vapor sobre sí, con la consiguiente evaporación en las gotas próximas; en otras palabras, una destilación en beneficio del cristal que acabará por precipitarse cuando haya alcanzado un cierto diámetro.

Eludimos restringir la idea de la genética de la lluvia a los aceptados principios sobre la fase sólida, sin pasar por alto que son, precisamente, ellos los que gozan de la patente de origen y los que hoy día acaparan la beligerancia casi absoluta en el reparto de los hechos físicos.

Por estas razones incluímos un resumen esquemático de los recientes acontecimientos históricos a ese respecto; resultados experimentales que jalonan decisivamente la trayectoria científica que desemboca en la constitución de los actuales cuerpos de doctrina.

Como quiera que casi todos han venido a corroborar la existencia de ciertos umbrales térmicos que separan entre sí zonas definidas por el distinto comportamiento de los agentes, transcribimos los fenómenos encontrados manteniendo fidelidad a esa distribución.

Tales intervalos son: entre 0° C. y $-32°$ C., entre $-32°$ C. y $-41°$ C. y por debajo de $-41°$ C. (cabe admitir la formación repentina de hielo a $-70°$ C. en el seno de vapor homogéneo; fenómeno que no tendremos en cuenta, porque no nos afecta). Son tan decisivos esos umbrales que hacen sospechar tengan poco

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que ver las cualidades individuales de los agentes o gérmenes al lado de las circunstancias térmicas.

Esquematizamos, pues, a continuación los resultados experimentales precedidos por el nombre del autor a que son debidos.

CWILONG.—Procedimiento operatorio: expansiones vigiladas y dirigidas en una cámara pequeña.

A lo largo de sus trabajos no se observan cristales entre 0 y —32. Esa falta aparente parece ser debida al pequeño volumen de la cámara.

Por debajo de —33 aparecieron partículas de hielo entre muchas gotas de agua. Su número creció gradualmente a medida que la temperatura se aproximaba a —41. Los experimentos en la cumbre del Jungfraujoch y sobre el Océano indicaron en ese intervalo falta, que puede considerarse total, de núcleos de formación de hielo.

Por debajo de —41 se observó aumento repentino de partículas de hielo, al pasar este umbral, con aire exterior. Con aire limpio, por repetidas expansiones y supuesto libre de núcleos, aún aparecieron partículas de hielo; se atribuye su formación a la sublimación del vapor sobre iones. A esas temperaturas se encontraron núcleos en el Jungfraujoch y en el Océano (añadamos que hace algunos meses ese autor observó disminución en la concentracion de núcleos, entre —32 y —41, en Nueva Zelandia, cuando soplaba brisa de mar).

FINDEISEN & SCHULTZ.—Método experimental: Expansiones intervenidas o vigiladas en cámara de grandes dimensiones, para distintas velocidades de expansión.

Entre 0 y —32 se formaron partículas de hielo ocasionalmente, cuyo número creció en razón inversa a la temperatura; la concentración alcanzó 1/litro a —32. Investigada la dependencia entre la temperatura a que se formaron y la velocidad de expansión, se observó que los núcleos producían cristales a temperatura «más baja» a medida que la velocidad de expansión se incrementaba (fueron bautizados como núcleos «tipo 1» de Findeisen).

Pocos núcleos formaron cristales en condiciones de elevada sobresaturación con respecto al hielo; la mayor parte fueron ineficaces mientras no se alcanzara la saturación con respecto al agua.

Pasados los —32 se observó aumento repentino del número de partículas de hielo y se alcanzaron concentraciones del orden de 1/cm^3. Se comprobó que tales núcleos estimulaban la formación de cristales a temperaturas «más elevadas», a medida que la velocidad de expansión iba en aumento (se conocen como «tipo 2» de Findeisen). Pero tales cristales aparecieron solamente acompañados de gotas de agua, lo que hace sospechar que sólo son eficaces en saturaciones con respecto al agua.

WEICKMANN. — Método experimental: examen microscópico de los productos de condensación formados en una placa metálica, en la cámara de enfriamiento.

De 0 a —32 se formaron cristales únicamente al alcanzar la saturación con respecto al agua (y principalmente en el borde del anillo de evaporación).

En el siguiente intervalo, con aire ordinario, se formaron poquísimos cristales por encima de —38 en condiciones de gran sobresaturación con respecto al hielo. Con sobresaturaciones con respecto al agua su número creció considerablemente.

Por debajo de —41 el número de gotas subfundidas creció al calentar el aire con una estufa, con aportación de núcleos (probablemente, de $H_2 SO_4$), pero aparecieron pocos cristales entre ellas.

Otro método experimental de ese autor consistió en el examen microscópico de partículas de Cirrus derretidas, entre 0 y —32; encontró que las gotas contenían pequeños elementos sólidos insolubles de 1μ de diámetro, aproximadamente. Los residuos de evaporación presentaban puntos higroscópicos.

RAU.—Método experimental: Examen microscópico de gotitas depositadas en una superficie metálica en la cámara de enfriamiento.

Resultó que, entre 0 y —32, la formación de hielo arrancaba de determinados puntos de la gota. Provocando congelaciones y fusiones alternativamente se comprobó que la cristalización ocurría a temperaturas susceptibles de reproducirse a partir de núcleos simples, pero que, pasado cierto número de repeticiones, tales núcleos quedaban ya estériles. Se requirie-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ron, para proseguir la operación, aportaciones de nuevos núcleos a temperaturas inferiores. Se obtuvieron congelaciones entre —10 y —12, por lo general, y se presentaron casos de núcleos activos a temperaturas superiores.

Advertimos que el estado de máxima subfusión que pudo obtenerse en contacto con núcleos alcanzó los —33.

Los núcleos de congelación primeramente ineficaces se activaron por desecación del borde de las gotas. De nuevo se hicieron estériles al sumergirles en el volumen líquido.

HOLLSTEIN.—Método experimental: Investigación de los estados de subfusión de disoluciones salinas de concentración variable.

Resultados generales: los puntos de fusión se hallaban unos 14 grados por debajo de los arrojados por las tablas de valores críticos para el NaCl. Lo notable de esto es lo siguiente: Se sabe que hay una curva de equilibrio entre la disolución y el hielo; regular hasta el punto de concentración eutéctica, que presenta discontinuidad; tan pronto como el punto de fusión coincide con éste, se presentan dos fases sólidas: hielo y un hidrato salino (punto considerado límite inferior accesible por las disoluciones). Pues bien, Hollstein encuentra que una disolución eutéctica puede ser subfundida a temperaturas inferiores, como —35.

En las observaciones de gotas de disoluciones concentradas de sal común en una cámara, Weickmann comprobó que la mayoría cristalizaban durante su caída y se identificaron en la placa cristales de NaCl. Al pasar la temperatura de —30 ocurría un hecho significativo: la película acuosa que cubre la mayor parte de cristales se hizo opaca y áspera; al elevar la temperatura con objeto de fundir y evaporar, las superficies de los cristales salinos aparecieron con irregularidades, como grabadas. Efecto que debemos atribuir al agua en subfusión, antes de su paso a la fase sólida.

FOURNIER D'ALBE.—Método experimental: Expansiones vigiladas en una cámara pequeña; es decir, observaciones microscópicas de los productos de condensación en espacio reducido.

Entre —32 y —41, haciendo uso de aire exterior, aparecieron pocas partículas de hielo, mezcladas con muchas gotas. La temperatura umbral, poco definida, varió entre —32 y —36. Empleando aire limpio por expansiones, no apareció núcleo alguno.

Por debajo de —41 y con aire exterior, se formó una niebla compuesta principalmente de partículas de hielo, pero esto únicamente al llegar al punto de rocío. La temperatura umbral se pudo reproducir con un error inferior a 0,2° C. Con aire limpio no se formaron cristales; por ese motivo se sospecha que los resultados de Cwilong obedecen a que algunos núcleos escaparon del proceso de limpieza.

Otro procedimiento operatorio: introducción de sales químicas puras como núcleos artificiales, en la cámara que contuviera aire limpio.

Entre 0 y —32 los núcleos de AgI produjeron cristales de hielo ya a —7, pero sólo una vez logrado el punto de rocío. Funcionaron, pues, como núcleos de congelación. Los núcleos de CdI_2 produjeron cristales por debajo de —9 en el punto de escarcha, de modo que funcionaron como auténticos núcleos de sublimación.

Núcleos de NaCl, $NaNO_3$ y otras sales puras produjeron cristales de hielo solamente por debajo de —41, y con saturaciones respecto al agua. A temperaturas superiores sólo se formaron gotas líquidas.

PALMER.—Método experimental: Cámara grande; experimentos parecidos, pues, a los de Findeisen y Schultz.

Se encontraron núcleos en el intervalo —18 a —32 y su número creció hacia temperaturas inferiores. La eficacia de los núcleos presentaba la misma dependencia general de la velocidad de expansión encontrada por Findeisen y Schultz. Se hallaron partículas de hielo esporádicas con elevada sobresaturación respecto al hielo.

Otro procedimiento operatorio: Análogo al de Gwilong, pero a bordo de un avión.

Entre —32 y —41 se encontraron núcleos en aire de superficie, es decir, a poca altura, mas no sobre inversiones, nubes estratiformes y bordes superiores de las nieblas.

Por debajo de —41 se encontraron núcleos efica-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ces a todas las alturas hasta los 6 Km. (techo de estas observaciones en avión).

BREWER & PALMER.—Método experimental: Análogo al de Cwilong.

Por debajo de —41 confirmaron lo encontrado por Fourniel d'Albe: que no aparecían cristales si el aire se hallaba libre de núcleos. Podían, sin embargo, engendrarse éstos por la acción de rayos ultravioleta.

* * *

Discutamos ahora sucintamente estos resultados expuestos con el fin de deducir consecuencias. Añadiremos que los experimentos de Cwilong, Fournier d'Albe, Palmer y los de éste con Brewer pertenecen al año 1949, y los demás, a años inmediatamente anteriores. Es decir, de patente actualidad.

A la pregunta planteada por los físicos sobre si el mecanismo consiste en «congelación secundaria» o «sublimación directa», si los elementos de hielo en la nube son el resultado del paso de la fase-vapor inmediatamente a sólido sobre núcleos especiales, o si se forma primero una gota de agua sobre un núcleo de condensación ordinario, podemos contestar: los núcleos de Findeisen «tipo 1» producen cristales de hielo con sobresaturación con respecto al agua, aunque algunos se presentaron activos ante tensiones de vapor algo inferiores a aquélla, lo que hace suponer que no se trata de núcleos auténticos de sublimación. Por lo demás, en experimentos meticulosos de Cwilong y Dobson, trabajando con higrómetros de puntos de escarcha, había ocurrido lo siguiente: Se conjeturaba la necesidad de la existencia de núcleos de sublimación y, dado que el cuarzo tiene estructura similar a la del hielo (pasemos por alto el debatido isomorfismo), se pensó que, pulverizado, produciría excelentes núcleos; pero se encontraron con un contratiempo: Muy por debajo de 0°, incluso hasta —38 C., el depósito era unas veces de rocío, y otras de escarcha. Perdieron inútilmente mucho tiempo buscando una superficie en la cual se depositara siempre hielo. Dificultades que hacen pensar que los núcleos de sublimación, caso de que los consideremos elementos normales atmosféricos, es rarísima su existencia en el aire.

Lo observado por Rau invita a pensar que sus núcleos eran sólidos e insolubles (hace años Meyer y Pfaff, con el procedimiento primitivo de filtrado de núcleos, con colodión de diámetro poroso 10^{-6} cm., mantuvieron agua en subfusión hasta —24° C.; repetidas destilaciones, y, filtrados, prolongaron el equilibrio hasta —33). Los experimentos de Weickmann también confirman lo dicho.

En cuanto a las pruebas entre —32 y —41, que muestran, en general, la imposibilidad de obtención de agua subfundida en contacto con núcleos sólidos más allá de —33, aparte de la aparición repentina de gran número de partículas de hielo al trasponer el umbral en la cámara de expansiones, indican la aparición de un nuevo tipo de núcleo, probablemente soluble, que reacciona inversamente a como lo hace el «tipo 1» de Findeisen. La tesis de este autor sobre la existencia de un «tipo 2» activo a esas temperaturas aparece negado por Fournier d'Albe, en cuyos trabajos se encuentra que tales núcleos sólo son activos en el punto de rocío, cosa que hace suponer que la producción de hielo es a través de la existencia previa de gotitas líquidas como vehículo. Hasta ahora parece admitirse que no hay a la vista otros núcleos auténticos de sublimación que los encontrados por este mismo (d'Albe), consistentes en CdI_2.

De los trabajos de Hollstein se desprende la beligerancia de los núcleos de sales marinas. En trabajos realizados por Dessens (1949) sobre la caza de núcleos atmosféricos con mallas de telaraña, identificó en el microscopio indiscutible mayoría de los mayores de 10^{-5} cm. como consistentes en elementos de NaCl.

Como conclusión a este capítulo debemos añadir que el conjunto de conocimientos derivado de los experimentos que acabamos de describir, son de aplicación inmediata para formar una imagen de los procesos que, de hecho, ocurren en la atmósfera, a propósito de la producción artificial de lluvia.

Se podría argüir que tales procesos obrantes en la atmósfera libre pueden no coincidir con los del laboratorio, o que es muy difícil observar la temperatura a la que se forman partículas de hielo en una nube. Desde luego, queda mucho por hacer, tanto en vuelo como en laboratorio, pero no nos es desconocida la faceta aeronáutica de estos hechos que, por su carácter físico-experimental, hemos querido agrupar en capítulo aparte; faceta que puede resumirse en algunos puntos, como los siguientes: Que los umbrales son vá-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

lidos para la atmósfera libre sin más que efectuar una corrección por constante aditiva. Así lo confirma Regener y, especialmente, Frith, en cuidadosas medidas efectuadas a bordo de aviones de gran techo, hábiles para la navegación entre Cirrus (nubes de cristales exclusivamente), medidas que por su número ingente tienen carácter estadístico; Que la temperatura de —41 tiene carácter individual significativo, como lo confirman Palmer y aquél último, por pruebas en vuelo.

Hechos que no deben pasarse por alto en una campaña nacional para la producción artificial de lluvia.

V

En septiembre de 1947, M. H. Halstead (del Servicio Meteorológico Norteamericano) y L. B. Leopold (de la Estación Experimental Azucarera de Hawai), realizaron ensayos de siembra con CO_2 sobre Honolulú. En una de las operaciones se procedió así: A las 10,30 horas se dirigieron hacia una nube en lontananza cuyo diámetro se estimó en 8 - 10 millas (base a 800 m. y cima a 2.500), la cual rociaron con 50 libras de CO_2, desde las 10,37 hasta las 10,42 horas. Las observaciones terrestres registraron lluvia a las 10,46, o sea nueve minutos después de empezada la prueba. Una hora más tarde esa precipitación se extendió a lo ancho de un área de 3 Km^2; la nube, en su evolución, se trasladó hacia el Sur, desarrollándose en proceso de crecimiento por el Oeste, y dió por resultado que la zona total cubierta por lluvia llegase a tener 56 Km^2.

Durante ese día se pudieron observar desde a bordo, por los alrededores, otras nubes, que no se sembraron; ninguna de ellas produjo precipitación.

Eludimos la mención de más ejemplares, traído éste, no tanto para subrayar el buen éxito de las operaciones, como para llamar la atención sobre el hecho de que en éste (y otros análogos, el 70 % de los cuales produjeron lluvia entre los 9 y 30 minutos), la isoterma de 0 grados se hallaba alrededor de los 5.000 m., es decir, muy por encima de la altura de los vuelos.

Y ahora, sin necesidad de discutir lo que en el capítulo anterior quedó orientado, según el admitido cuadro o esquema termodinámico de Bergeron-Findeisen, puesto que, de suyo, no hay obligada contradicción si se examinan los fenómenos con cierto detenimiento, sólo diremos que el retoque que precisa añadir por la insospechada aparición de un estímulo pluviógeno fuera de las márgenes tan fríos a que se había hasta la sazón constreñido su eficacia, queda resumida en las siguientes consideraciones: Que la causa de lo arriba señalado no hay que buscarla aquí en el efecto de enfriamiento del CO_2, sino en mecanismos de otra índole como, por ejemplo, el efecto de las gotas de agua introducidas (y, por tanto, extrañas) en la parte superior de la nube por fusión de la corteza exterior de los cristales, bien por aplastamiento o choque con partículas acompañado de fenómenos de condensación, a lo que puede sumarse el efecto propio del avión, que consistiría probablemente en el rociado de gotas por desprendimiento desde los bordes de salida de las paletas de las hélices u otras aristas apropiadas, agua producto de las gotitas nubosas aglomeradas en el avión en su marcha, o producto del depósito por condensación en un ambiente sobresaturado (la tensión máxima correspondiente a la aeronave es inferior a la de las gotas pequeñas). Las gotas engendradas por cualesquiera causas de ese tipo serían mucho mayores que las corrientes en suspensión, y, por un efecto bien visible de la tensión superficial, tendríamos, para determinadas condiciones de humedad, desaparición progresiva de las gotitas pequeñas en beneficio de las grandes. Éstas, en su caída, una vez alcanzado determinado diámetro, se romperían, y los fragmentos resultantes iban a ser, a su vez, mayores que las gotitas nubosas. En el caso de nubes de gran espesor podemos imaginar la de veces que este hecho se reproducirá, provocado por el simple acto originario de arrojar una sola gota de tamaño adecuado. Por consideraciones más o menos empíricas se puede atribuir a esta «reacción en cadena» un factor de amplificación superior a 10^3.

Vistas una serie de experimentos del tipo antes señalado queda abierto un camino para la precipitación artificial realizable a temperaturas superiores a 0°; en otras palabras, con nubes de gotitas no subfundidas. Al prescindir de los fenómenos de subfusión debemos fijarnos en que ahora no se tratará en absoluto de depósitos de agua sobre núcleos de congelación o de sublimación, y cabe preguntar, generalizando, qué clase de núcleos nos servirán aquí para provocar la formación de gotas de tamaño suficiente para precipitar.

Los trabajos de Dessens a ese respecto se orientan

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

hacia fenómenos de higroscopicidad; de ser así, serían muy útiles substancias como el $CaCl_2$, pulverizadas.

El estudio de disoluciones salinas aporta consecuencias positivas si el decremento de la tensión de vapor debido al soluto hace que aquel sea inferior al de las gotas cercanas. Entonces serán aplicables las leyes de Raoult para el crecimiento de la gota en cuestión a costa de las demás; crecimiento que vendrá en función de $\triangle p$, diferencia entre las tensiones de vapor de la disolución y del disolvente, e intervendrán fenómenos electrolíticos.

El autor ha ensayo con buen éxito el NaCl.

Pero, detengámosnos en algunas consideraciones. La velocidad de desarrollo de una gota de radio S en su caída es

$$\frac{dS}{dt} = wUE/4b$$

en la que E es un índice de la eficacia de la agregación por barrrido (que depende del núneo Reynolds), w, la humedad absoluta, U, la velocidad y b, la densidad de la gota. Si suponemos w constante

$$t = 4b/w \int \frac{dS}{EU}$$

Por otra parte, sin necesidad de postular eso, haciendo

$$U = \frac{dz}{dt},$$

se tiene

$$\int w \, . \, dz = -4b \int \frac{dS}{E}$$

integrales ambas, que representan la precipitación, ésta última, y la cronometría del crecimiento, aquélla.

$$\int \frac{dS}{E} \quad \text{y} \quad \int \frac{dS}{EU}$$

han sido tabuladas por Langmuir a base de la regla de Simpson.

La reacción en cadena necesaria para la lluvia que se registró en Honolulú (del orden de 20.000 toneladas) supondría, aproximadamente, un factor de amplificación del orden de 10^7. Es evidente que, tanto como el espesor de la nube, tienen importante actuación las corrientes ascendentes, pues así se multiplicarán las ocasiones de proseguir la cadena. Llamando V a la velocidad de subida

$$\frac{dz}{dt} = V - U$$

y al eliminar t

$$\int w \, . \, dz = 4b \left(V \int \frac{dS}{EU} - \int \frac{dS}{E} \right)$$

Esa velocidad ha sido tabulada también por aquel mismo autor con arreglo a los valores críticos necesarios para la reacción, así como el líquido total comprendido entre z_1 y z_0; niveles de la nube entre los cuales las gotas deben crecer y romperse.

Concluyamos diciendo que, tan pronto como se inicia la reacción en cadena, la nube sufre profunda modificación. Las gotas, con su peso, originan corrientes catabáticas y, como resultado, a continuación, convergencia en las capas altas y divergencias abajo. La convergencia tenderá a acumular lluvia en esa zona, y así acelerar el desarrollo de una estructura celular, con incremento de ascensiones en las regiones adyacentes. Del descenso dependerá el tiempo que medie entre la siembra y la llegada del agua al suelo.

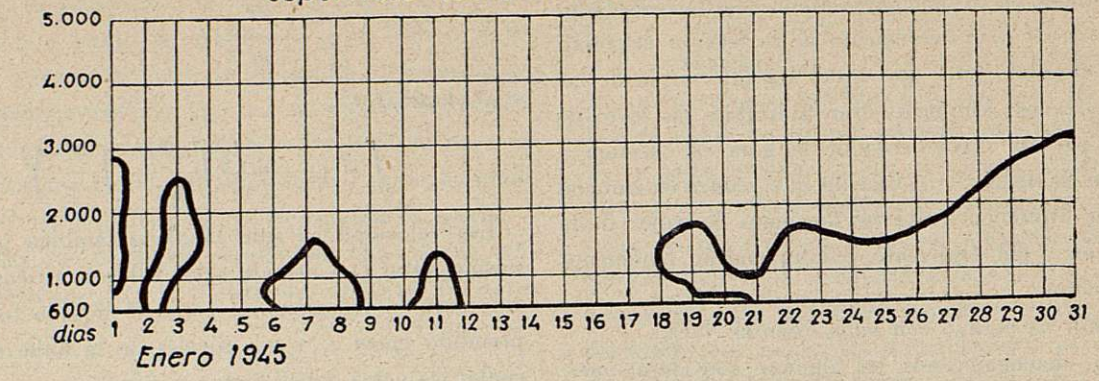
No debemos olvidar que, en invierno, las componentes verticales y la humedad absoluta son menores que en primavera o en otoño, en España, en las nubes de inestabilidad. Es muy importante el sondeo termodinámico previo de la atmósfera, para decidir las condiciones. Adjuntamos un gráfico de la variación con la altura de la isoterma de 0^{-0} en Madrid a lo largo del año 1944, y también la variación diurna de la misma en los meses de enero, abril, julio y octubre de 1945; datos obtenidos a partir de los sondeos efectuados en Barajas por la Escuadrilla del Servicio Meteorológico Nacional y por Radiosonda. Recalcamos la trascendencia para nuestra nación de lo descrito, ya que tanta falta hace la lluvia en épocas del año en las que las nubes no alcanzan niveles demasiado fríos.

VI

Podemos decir que hasta aquí hemos tratado el lado intrínseco de la cuestión; el problema físico, sus soluciones y realización, así como horizontes y fronteras. Veamos ahora lo que pudiera llamarse el teatro de

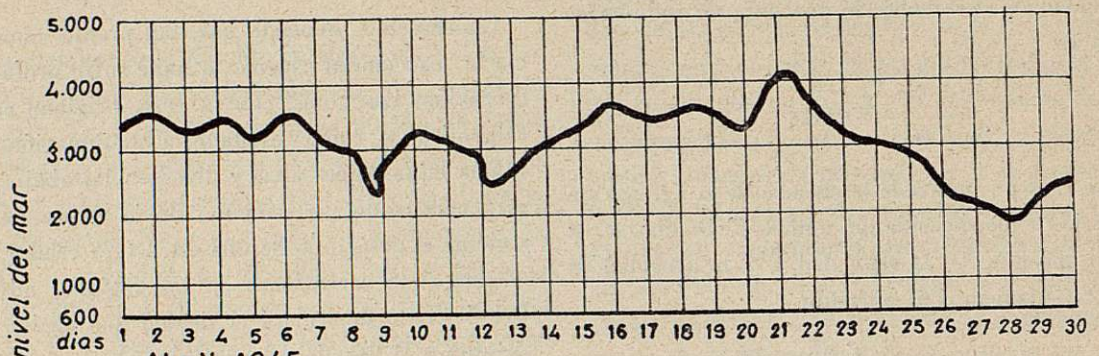
FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Altura sobre el nivel del mar de la superficie isoterma de 0°

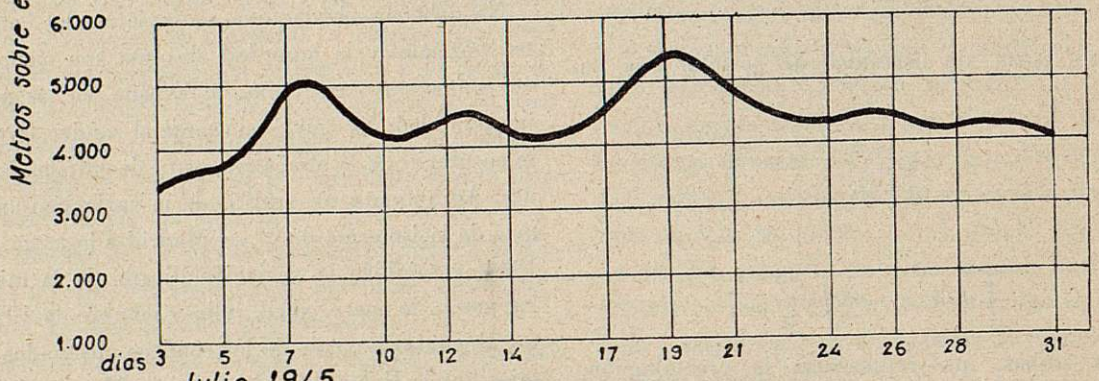


Enero 1945

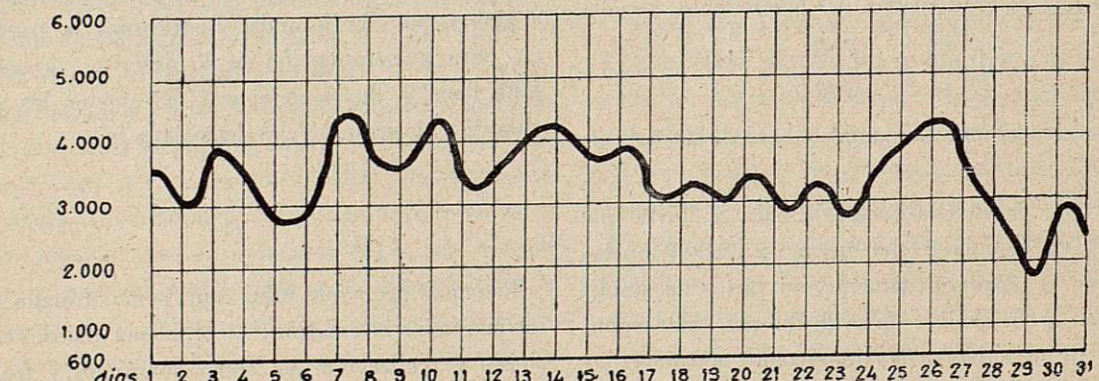
Metros sobre el nivel del mar



Abril 1945



Julio 1945



Octubre 1945

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

operaciones, el tiempo y lugar en cuestión, tan ligados al aprovechamiento nacional. Salta a la vista que, pues nos toca emprender la confrontación con realidades externas, el buen éxito dependerá en gran parte de una tarea dedicada al examen ponderado de las circunstancias.

Consideremos primeramente las circunstancias meteorológicas; la tarea consistirá en la elección de criterio previsto para designar las situaciones adecuadas o tipos de tiempo favorables. En la elección de estos criterios conviene adoptar una postura inicialmente objetiva, impresa de cierto empirismo y, si es posible, de conclusiones derivadas estadísticamente. Otra postura, eminentemente racional, en lo doctrinado, distinta de la anterior, con argumentos inconmovibles podrá intervenir ocasionalmente en apoyo de las decisiones. Con esto alejaremos, en lo posible, todo error subjetivo.

Trataremos, pues, de confeccionar un cuadro o esquema compuesto de número reducido de índices, a tenor de los elementos que ejerzan función decisiva en el aprovechamiento del tiempo atmosférico de nuestra península; en otras palabras, proceder a la selección de parámetros característicos al servicio del buen éxito de la empresa.

No omitiremos que con tales índices podrá ocurrir que, unos sean impracticables por la dificultad de su obtención, y que deban ser substituídos por sucedáneos; otros, deberán sufrir modificaciones a expensas de su significado, y a la vista de su nexo con los hechos, pero eso se deriva de la objetividad de nuestra postura, congénitamente sana, incuestionable, como lo es un teorema referido a sus postulados; labor posterior consistirá en la revisión de éstos, si fallan en lo que se persigue.

El primer índice que señalamos va a consistir en la medida de la efectividad de la operación, dada por

$$\frac{\text{lluvia caída con siembra}}{\text{lluvia caída sin siembra}}$$

referido a unas circunstancias ideales, impracticables, pues se trataría de reproducir en la atmósfera dos fenómenos en igualdad de circunstancias imposibles: dos nubes exactamente iguales sometidas simultáneamente a los procesos que se indican.

Un segundo índice tratará de la razón

$$\frac{\text{nubosidad}}{\text{lluvia}}$$

con objeto de elegir las áreas en las que gran parte de las nubes no precipitan, y, por tanto, se pierden sin provecho. No nos podemos desprender aquí del empirismo que rodea a ese criterio, ya que en las estadísticas climatológicas (según acuerdos internacionales están confeccionadas a partir de observaciones de los años 1901 a 1930, la serie de los 30 años) no figuran para los valores normales la lluvia caída en cada caso o la cantidad de nubes que la produjo, por lo que nos tendremos que conformar con relacionar el número medio de días en que la nubosidad no debió precipitar con la cantidad de lluvia media anual (véanse mapas adjuntos). Con todo, este dato es muy signficativo y la distribución destaca propiedades elocuentes.

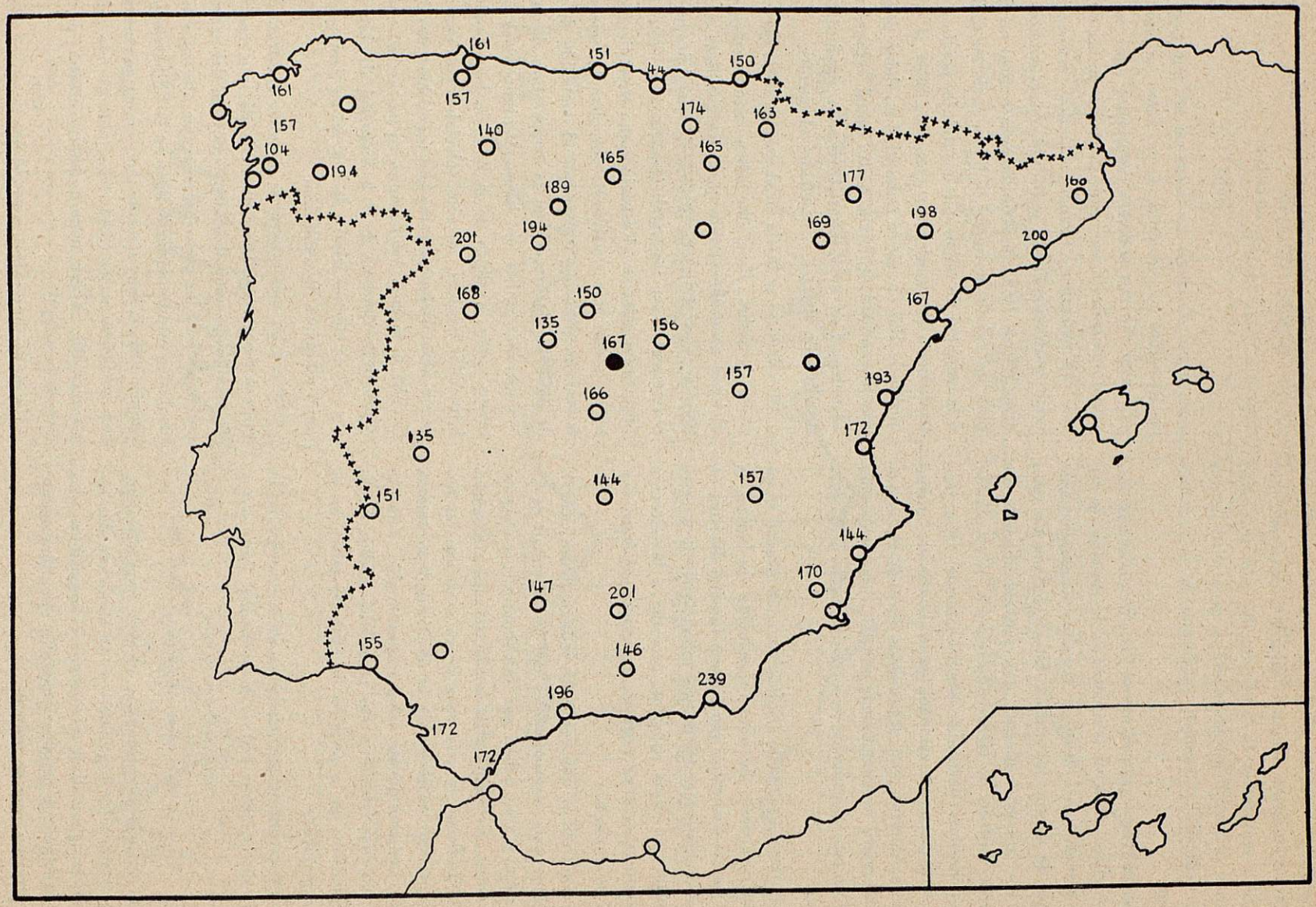
Otro criterio se funda en el examen de la clase apropiada de nubes. Para ello deben examinarse las condiciones geográficas tanto como las generales meteorológicas, pues el tiempo atmosférico modifica su comportamiento con las condiciones locales. Este índice tiene tanto valor en el espacio como en el tiempo; no tenemos más que considerar, por ejemplo, que en las nubes cumuliformes ocurre que el contenido de vapor de agua ha de crecer con la temperatura de la base (comparando nubes con bases al mismo nivel. ya sabemos cómo la altura de la base de los cúmulos de formación local es, no sólo calculable por consideraciones termodinámicas, sino aun previsible antes de que la nube se forme). Así tenemos, en particular, que a la altura de la isoterma de 0° la humedad absoluta es de 1 g/m^3 en tiempo frío, y de 7 g/m^3 en tiempo cálido, como márgenes de oscilación.

De carácter más general es el índice que trata de los tipos de tiempo más favorables o de máximo rendimiento, atendiendo aquí al análisis sinóptico del carácter y movimiento de las perturbaciones que afectan a la península. Su estudio entra de lleno en la Climatología Dinámica, ciencia muy reciente que, si bien no cuenta aún con suficientes series estadísticas, permite una referencia muy útil. (Veáse mapa de las trayectorias de mínimos de presión.)

Un índice muy práctico será el que se refiera a la fre-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

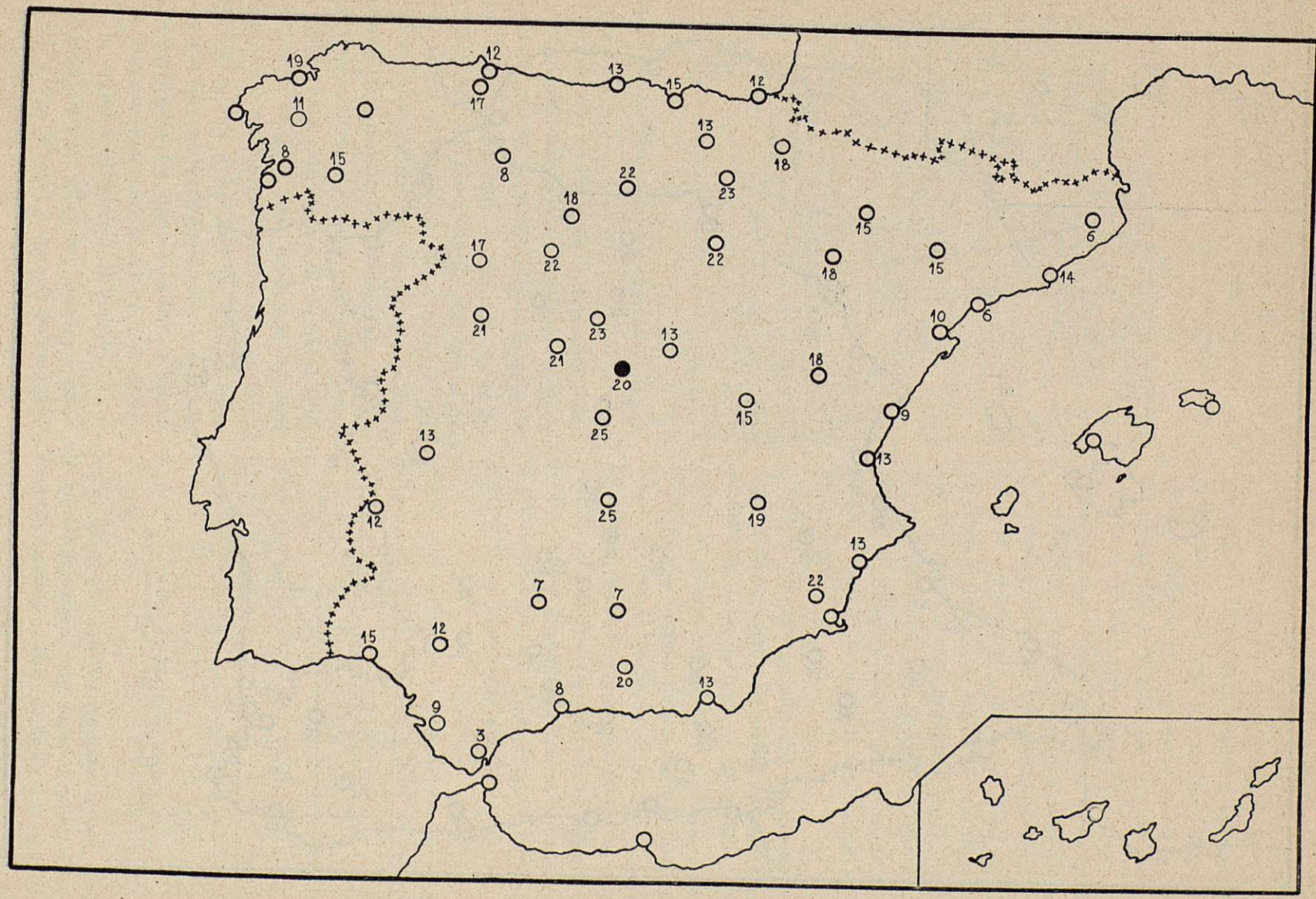
Número medio anual de días con nubes sin precipitación



Valores calculados a partir de los normales climatológicos. Estadísticas de los años 1901 a 1930

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

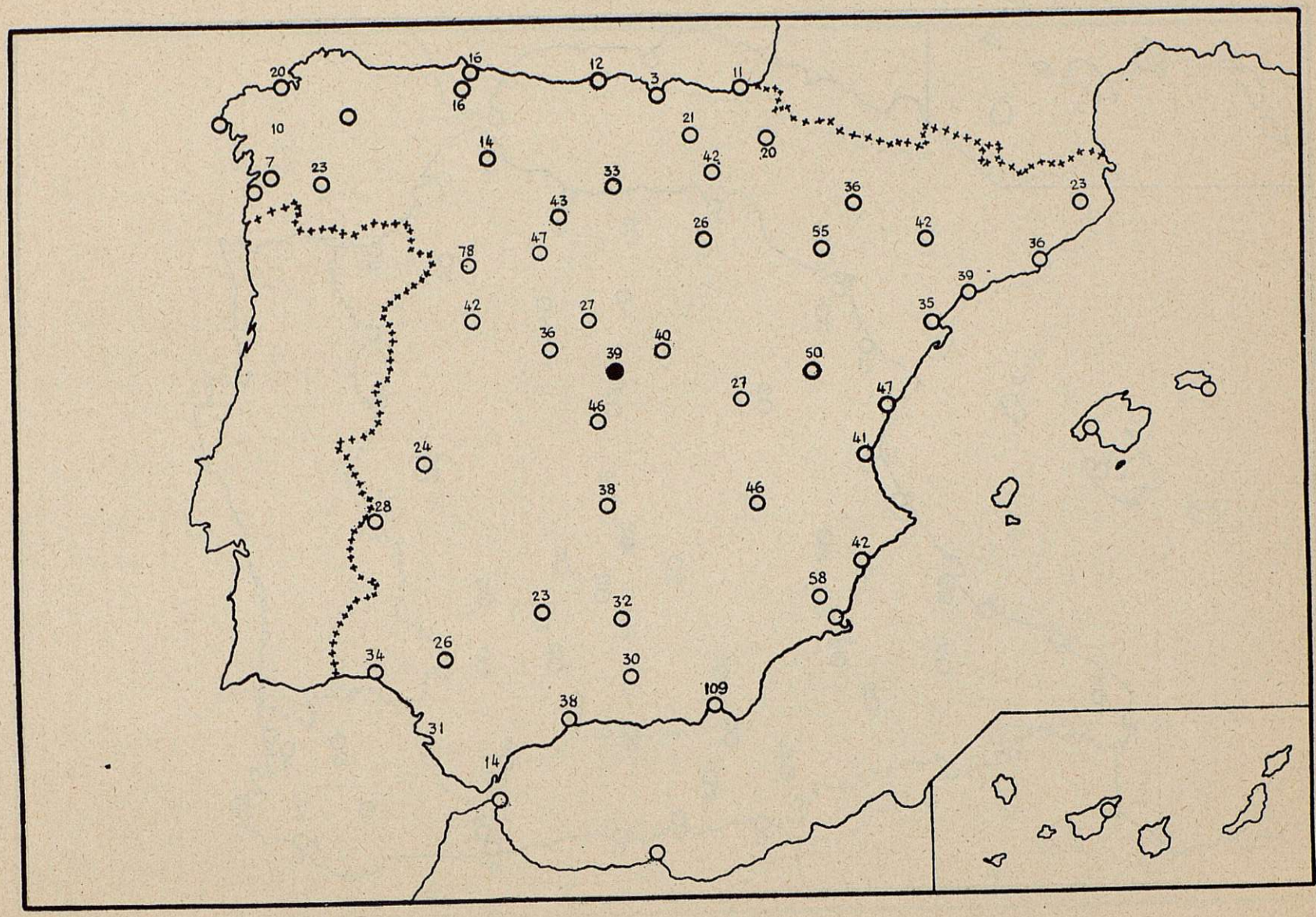
Coeficiente inversa de la cantidad de precipitación por día de cielo cubierto



Valores calculados a partir de los normales climatológicos. Estadísticas de los años 1901 a 1930

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

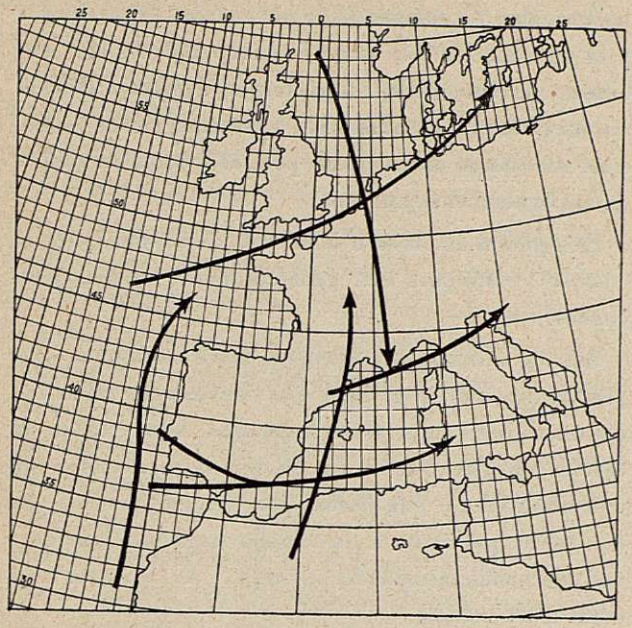
Indice de las ocasiones en que la nubosidad no precipitó, referidas a la lluvia recogida al año en el lugar de observación



Valores calculados a partir de los normales climatológicos. Estadísticas de los años 1901 a 1930

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cuencia de los casos en los que el tiempo óptimo ha durado lo suficiente para una campaña; de más valor representativo que aplicación concreta, será ventajoso añadirle la vigilancia del tiempo a ese respecto, pero



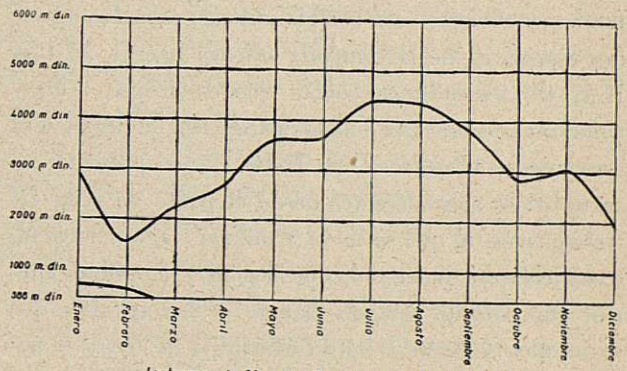
esto supondría salirnos de nuestra objetividad de apreciación.

Otro índice, referido al tiempo, corresponderá al examen de las condiciones térmicas generales: variación con la altura (valores normales) de la isoterma de 0°.

Como quiera que el objeto de esta campaña de lluvia artificial debe ser, principalmente, aumentar la precipitación anual en las cuencas de los embalses, pues otra aplicación, de carácter agrícola por ejemplo, dado lo extenso de las áreas que habría de abarcar no sería de tan claro rendimiento económico, en general, decidimos considerar las circunstancias hidrográficas. Como tampoco existe sobre el tema experiencia suficiente para prever que precipitaciones incrementadas iban a ser logrables en toda el área nacional, y, a sus resultas, modificar los criterios de distribución de embalses, es lógico que el programa tienda únicamente a regularizar las precipitaciones sobre la red actual de embalses para la obtención del máximo rendimiento.

Con arreglo a esto un índice muy interesante será el que se refiera a la densidad de aprovechamiento eléctrico. Como los gastos de una campaña se pueden considerar proporcional al área sembrada, así como los costes de amortización de todas las pruebas que deban precederla y, en última instancia, lo almacenable será cierta cantidad de agua que se transformará en un cierto número de kilovatios-hora, quiere decirse que el cociente E/A de K.W.H. que se puede producir al año con el embalse a tope al área de la cuenca que suministra el agua a dicho embalse es índice que refleja el rendimiento práctico que se va a sacar de la campaña; índice que habría que determinar para cada embalse, lo que conduce a determinar áreas de cuencas de afluentes o de la zona alta de los ríos. Para elección más rápida, pero menos meticulosa, puede substituirse por el mismo índice, pero, en lugar de referirlo a cada embalse en particular hacerlo para la totalidad de la cuenca de cada embalse y a la totalidad de embalses de la cuenca.

Otro se referirá a la saturación del embalse, y responde al hecho evidente de que hay embalses que, casi seguramente, todos los años se llenan, incluso varias veces; en cambio, otros situados en sitios de régimen de lluvias más irregular durante los años de sequía no llegan, a veces, a más de un 30 % de su capacidad. Es en estos últimos en donde se obtendrán los máximos beneficios. Este criterio se refleja en el índice de saturación $1/f$ (f = frecuencia o número de veces en que el embalse se ha llenado a más de un 75 % de su capacidad en los últimos diez años).



Isoterma de 0° sobre Barajas durante el año 1944
(datos medios mensuales calculados de los sondeos en avión a 7 horas T.M.G.)

Por todos estos criterios expuestos en este capítulo se ha decidido elegir como lugar ventajoso para una campaña nacional de lluvia artificial la cuenca del río Esla.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

VII

Una vez elegida la zona apropiada, y subsiguientemente, el período anual más indicado para realizar una campaña de lluvia artificial, nos queda por fijar cuáles deben ser las líneas generales de un programa para dicha campaña.

La primera campaña debe tener carácter experimental, y como tal debe de realzarse en zonas reducidas y con pocos elementos. Una vez realizada la campaña de pruebas, si los resultados son satisfactorios, sería llegado el momento de elaborar el programa para la campaña definitiva.

Campaña de pruebas.—Elegida como zona apropiada la cuenca del Esla, con superficie aproximada de 30.000 Km^2, se elegirá en dicha área un afluente cuya cuenca se estime reúne las condiciones óptimas. Dentro de dicha cuenca se montarán los elementos necesarios para medir el caudal; se incrementarán las estaciones pluviométricas y se montarán pluviómetros horarios.

En las zonas montañosas de la cuenca y a barlovento del régimen dominante se instalarán estaciones fijas de aventado.

Como aeródromos-base parece lo más indicado utilizar la base aérea de Salamanca, por razones de proximidad y por ser de las mejor dotadas de España para apoyo de la navegación a ciegas.

Sería conveniente realizar la campaña con un mínimo de dos aviones y, preferiblemente, tres. Aunque, fundamentalmente, sea posible utilizar, para las misiones específicas de la campaña aviones ligeros del tipo H.A. 43, teniendo en cuenta que es preciso utilizar aviones perfectamente dotados para vuelo a ciegas, será conveniente adoptar el tipo H-16, el cual presenta características sobresalientes desde el punto de vista del trabajo para el que se lo va a utilizar; alta velocidad, techo elevado, buen radio de acción y amplitud interior que permite cómodo manejo de los aparatos que se instalen y llevar a bordo el equipo de técnicos necesario.

El avión debe estar perfectamente equipado para el vuelo a ciegas y, por tanto, deberá llevar: equipo transmisor-receptor, gonio, sistema de aterrizaje a ciegas, altímetro radioeléctrico y radar.

De estos tres aviones, uno de ellos estará adaptado para llevar una cámara fotográfica con movimientos libres en ambas direcciones, horizontal y vertical. La cámara tendrá dispositivos que permitan conocer en todo momento el ángulo de la cámara con la horizontal. Partiendo de lechos de nubes aproximadamente horizontales y conociendo la inclinación de la cámara y la altura del avión sobre la nube, será posible (haciendo previamente la corrección de depresión del horizonte) llevar los puntos que aparezcan en las placas a un sistema de coordenadas polares y tener así mapas de las evoluciones sufridas.

El segundo avión se destinará a la siembra, para lo cual se lo equipará con generadores de núcleos adecuados.

Así, de utilizar, por ejemplo, nieve carbónica, será preciso disponer en el lugar más conveniente del avión, de un espacio para almacenamiento de las cajas de cartón con nieve carbónica. Se dispondrá asimismo de una sembradora, que puede, por ejemplo, consistir en una tolva, que vierta a un tornillo sinfín de dimensiones adecuadas, accionado por motor de corriente continua a 24 voltios.

El tamaño de las partículas de nieve carbónica se determinará con arreglo al criterio que se explicó en el Capítulo II. En la base de operaciones se dispondrá de instalación rudimentaria para la fragmentación de la nieve carbónica y de cribas para la selección de tamaño de las partículas.

Caso de no existir nieve carbónica, es posible utilizar, aunque con un mayor coste y menor rendimiento, anhídrido carbónico comprimido en botellas. Es hecho bien conocido que al abrirse la espita de aquéllas, el enfriamiento producido por la expansión provoca la formación de la nieve carbónica.

Para utilizar yoduro de plata será preciso construir generadores de humo de yoduro de plata, que pueden ser de tipo similar a las aventadoras de tierra, de los que hemos hablado antes; si bien estas últimas tendrán que ser de mucha más capacidad y dirigidas automáticamente durante el funcionamiento.

Teniendo en cuenta el coste elevadísimo del yoduro de plata, es claro que es preciso utilizar para ello sistemas que den pulverización perfecta y total utilización de la materia prima. Un tipo de generador de humo de yoduro de plata de gran rendimiento, consiste en una mecha de algodón impregnado en yoduro de pla-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ta, que se vaporiza con la llama de un soplete oxhídrico. Estos vapores son enfriados intermitentemente por inyecciones de aire a presión.

El tercer avión será equipado con dispositivo fotográfico y aparatos de medida para volar por debajo del techo de nubes y realizar observaciones. Para ello debe estar sincronizado con los aviones 1.º y 2.º

Como aparatos de medida será conveniente disponer de un aparato para medir la cantidad de agua líquida contenida en la nube; un indicador del tamaño de las gotas y otro indicador del grado de sobrefusión. Todos estos aparatos son de fácil construcción, y pueden perfectamente ser fabricados en España, al menos en sus tipos más sencillos, lo cual, aunque se traduzca en perder precisión, no es obstáculo, puesto que lo que presenta mayor interés es conocer las órdenes de magnitud.

Asimismo, conviene disponer de un acelerómetro para determinar con su ayuda las corrientes internas de las nubes.

Plazo de iniciación de las pruebas.—A este período de pruebas debe dársele duración de tres meses. No existe mayor exigencia en cuanto a época del año en que deba realizarse. Respecto a los elementos necesarios, aparte de los ya mencionados, habrá que contar con el equipo técnico que dirija las pruebas y un pequeño equipo de operarios adiestrados para el entrenamiento de las aventadoras terrestres, pluviómetros, horarios, etc., etc.

Campaña definitiva.—La campaña definitiva deberá proyectarse en detalles a la vista de los resultados obnidos en la campaña de pruebas ya citada. Con los resultados de ésta se elegirá la época del año en la que puedan obtenerse mayores rendimientos.

Respecto al número de aviones, en el caso de máximas exigencias, es decir, con toda la cuenca del Esla cubierta por nubes aptas para la siembra y partiendo de:

a) De fijar como duración máxima de la siembra cuatro horas.

b) Velocidad de crucero del avión 340 Km/h.

c) Separación entre las sendas de siembra de 5 Km.

d) Área de la cuenca, 30.000 Km².

Tenemos que cada avión puede sembrar

$$340 \cdot 5 \cdot 4 = 6.800 \text{ km.}$$

y, por tanto, serían necesarios 5 aviones.

VIII

CONCLUSIÓN

Fácilmente se deduce de las anteriores páginas el interés que presenta la lluvia artificial como posible solución, en futuro próximo, del problema de la sequía, y su inmediata aplicación para compensar el déficit de energía eléctrica existente en nuestro país. No hay que olvidar que gran parte de los órganos principales de aprovechamiento hidroeléctrico se encuentran emplazados en zonas de régimen de lluvias altamente irregular.

Pero no es ésta su única aplicación. Aun dentro de la modestia de este trabajo, que aspira, aparte de remediar necesidades perentorias, a la divulgación de los conocimientos, se podrán vislumbrar horizontes de importancia, como son el disipado económico de nieblas en aeropuertos, la autopropagación de borrascas de origen gobernable, y otros que, sin exagerar, brindarán al hombre la facultad de tener a mano, entre ciertos márgenes, ocasión de producir tanto sequías como mal tiempo, a su arbitrio.

Sería utópico pensar que se tendrá a voluntad el medio de transformar radicalmente las condiciones meteorológicas. No se trata de eso, ya que, sin más que efectuar un sencillo balance energético, tenemos que, durante un día de verano, sin nubes, la Península recibe por radiación solar una energía del orden de 25.000 bombas atómicas, y ese es el orden de magnitud de una borrasca de las que corrientemente afectan a nuestro país. No; el hombre no puede remedar a la Naturaleza; todas las energías que pudiera concentrar son despreciables para conseguir, por imitación, cualquier fin meteorológico apreciable. Pero le es dado, sin embargo, influir decisivamente, aprovechando ciertos momentos críticos, situaciones vulnerables, en las que la atmósfera nos brinda la ocasión de que un pequeño estímulo decida en sentido prefijado la marcha general de unos acontecimientos físicos, pendientes hasta entonces de equilibrio fenomenales entre formidables potencias en antagonismo.

Nuestro problema se centra, por tanto, en sorprender la atmósfera en una de esas circunstancias, pues, fuera de ellas, sería inútil todo esfuerzo.

Nuestros desvelos científicos deben dirigirse a per-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

feccionar procedimientos que hasta ahora no han dado de sí más que pequeñísima fracción de sus posibilidades. Veamos un ejemplo. Sendos trabajos de Palmer, Bannon y Best de los años 1949, 1948 y 1947, se orientaron hacia el cálculo de la concentración de núcleos generadores de hielo (se parte de la tesis Findeisen-Bergeron) requerida para producir una cantidad determinada de lluvia; cuestión de palpitante interés. Las últimas pruebas se realizaron por medio de una cámara instalada a bordo de un «Halifax» de la Unidad de Vuelos para Investigaciones Meteorológicas; otras anteriores habían tenido lugar en laboratorio. Tabularon un coeficiente que afectaba a la intensidad de la lluvia en función de corrientes ascendentes, para diferentes temperaturas potenciales del termómetro-húmedo (que goza de la propiedad de que, cuando una masa de aire evoluciona según una adiabática, aquél lo hace según una evolución que atribuye a la fase de la lluvia una eliminación de las gotas), y distinguieron dos grupos:

a) Depresiones o borrascas. Las pruebas arrojaron la proporción de 7 a 24 núcleos por litro, como la requerida para producir una intensidad de lluvia del orden de 1 a 4 mm./hora.

b) Lluvias de inestabilidad. Caso más complicado, pues la tormentas arrastran aire de los alrededores, con lo que la concentración de núcleos quedará modificada por falta de éstos en el aire superior. La concentración del orden de 1/litro.

Ahora bien, según consideraciones teóricas, confirmaciones experimentales, en laboratorio y en vuelo, un gramo de CO_2 produce 10^{16} cristales de hielo, por lo que afecta a las «siembras» aeronáuticas. Tocante a los generadores en tierra, de «humo nuclear» sabemos que un gramo de AgI es capaz de producir 10^{13} cristales de hielo. Suponiendo, en caso desfavorable, una concentración necesaria del orden de 25/litros, un sencillo cálculo nos dice que una nube cumuliforme va a necesitar de 10^{12} a 10^{14} núcleos, cantidad ínfima suministrable por un solo gramo de agente catalizador. Si se desarrolla una nube tormentosa que precipite 10 milímetros en un área de 10 Km^2, se obtendrían 100.000 toneladas de agua por un gasto irrisorio.

Lo mismo decimos para la disipación de nieblas en aeródromos. Una instalación «Fido» que cubriera un perímetro de 2.500 m. consumiría durante una hora 350.000 litros de gasolina, por sí sólo, prohibitivo para ciertos presupuestos. La precipitación por agente catalizador disiparía en pocos momentos tan estorboso hidrometeoro sin gasto apenas perceptible.

En cuanto a las perturbaciones auto-propagadas, su origen y mecanismo sería, más o menos, así. A raíz de la siembra se origina solidificación de ciertas gotas que liberan su calor latente de fusión, en tal proporción que la temperatura se eleva un grado. Esta adición de calor, en algunos casos, puede desencadenar una circulación de aire alrededor de la nube que, a su vez, suministre humedad con más rapidez que la precipitación misma. Esto puede ser de tales proporciones que no es ninguna exageración afirmar que en poco tiempo cambiaría, ante el predictor, el mapa sinóptico del tiempo en proporciones insospechadas.

Concluyamos el tema, que ha dado ya prometedoras realidades, y que merece ser objeto de interesantísimos estudios científicos, pues, por lo mismo que está lleno de enigmas, es campo que queda abierto al espíritu investigador. Ciencia y técnica van en éste, como en otros muchos progresos científicos, estrechamente hermanadas, contribuyendo cada una al más rápido progreso de la otra, en aras de la civilización por el fin trascendente del espíritu humano.

Madrid, mayo de 1950.

El Sr. Becerril entrega a la Mesa la siguiente nota acerca del trabajo anterior:

Los intentos para producir lluvia artificial se han hecho a base del empleo de núcleos de condensación. Parece ser que en el efecto de estos núcleos influyen, principalmente, su tamaño, su forma y su temperatura. La experiencia norteamericana parece indicar que los núcleos óptimos son los isomorfos con el hielo y a tempe-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ratura de, al menos, unos 5° C. por debajo de la del ambiente, y siempre estando éste a menos de 0° C.

Se han empleado también algunas substancias higroscópicas, principalmente sales de plata en gran estado de difusión, pero, en general, parecen dar resultados de poco interés.

Hasta ahora, en los más importantes ensayos realizados se ha utilizado el anhídrido carbónico sólido y se han logrado resultados de interés, al menos científico, obteniendo lluvia artificial, siempre que las nubes estaban por debajo de cero grados y el espesor vertical de las mismas a esta temperatura era como mínimo de unos 500 metros. Por encima de cero grados no se han obtenido en ningún caso resultados apreciables. El aspecto más delicado y fundamental del problema es la elección del momento adecuado en el que es preciso que coincidan distintos estados críticos de complejos fenómenos atmosféricos. Esta coincidencia es frecuente y, en mi opinión, puede llegarse científicamente a su determinación. Pero es un problema que no se ha estudiado de modo suficiente, hasta ahora.

Ha habido ensayos de lluvia artificial con anhídrido carbónico, entre otros países, en Estados Unidos, Australia, Méjico, Ecuador, Colombia, Bélgica, Francia, Inglaterra y España. Nosotros hemos ensayado también algodón impregnado de aire líquido, consiguiendo resultados del orden de los debidos al anhídrido carbónico, pero de mayor intensidad.

Síguese con la lectura del siguiente trabajo, núm. 185:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

N.º 185. - Tensiones de filtración y constantes electrocapilares de los terrenos permeables. Aplicación al estudio del agua freática

Autor: D. MARIANO FERNÁNDEZ BOLLO
Ingeniero de Caminos

I

FUNDAMENTOS Y ANTECEDENTES

1) LA EXISTENCIA Y MEDIDA DE TENSIONES PROPIAS DEL SUELO.

La existencia de tensiones creadas en el seno del suelo es fenómeno de fácil comprobación, y su estudio ha ocupado una sección importante de la Física del Globo desde hace mucho tiempo.

Cualquier aparato que absorba poca potencia para efectuar sus indicaciones permite comprobarlo.

Hasta fecha relativamente reciente, sin embargo, los aparatos que podían efectuar medidas con poca potencia para su indicación eran delicados y poco adecuados para transportarlos y trabajar en el campo, por lo cual se situaban en salas de los Observatorios dedicados a esta especialidad y se unían a puntos fijos por medio de líneas. Un ejemplo típico que se ha colocado entre los primeros observadores de corrientes de la corteza terrestre es el Observatorio del Ebro, que realiza medidas desde antes de 1910.

Únicamente el potenciómetro, por su mayor manejabilidad, se ha empleado con cierta profusión, aunque debe tratarse de aparato que esté muy bien construído, ya que, de otro modo, habría causas de importantes errores. De todas formas, adecuadamente manejado, el potenciómetro ha permitido lograr resultados muy satisfactorios.

Por último, el voltímetro con válvula de acoplamiento directo también resulta muy útil para la práctica de los trabajos y, en muchos casos, más seguro desde el punto de vista de no alterar las condiciones de equilibrio del subsuelo, con el riesgo de provocar fenómenos transitorios que encierra el potenciómetro. Por ejemplo, un voltímetro con válvula, con impedancia de 2 MΩ de entrada, mide tensiones de 1 voltio tomando sólo $0{,}5 \cdot 10^{-6}$ A, o sea, 0,5 μ *w*. Esta potencia casi siempre se suele despreciar, aun en casos de terrenos muy resistentes, en los cuales un potenciómetro resulta casi inútil, por la dificultad de lograr buen equilibrio, como no sea con un galvanómetro muy sensible y de grandísima resistencia interna.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

2) CAUSAS QUE ORIGINAN LAS TENSIONES EN EL SUELO.

Los fenómenos naturales que producen las corrientes espontáneas del suelo podemos clasificarlos de la manera siguiente:

a) *Reacciones químicas.*

La zona superior alterada, incluso, a veces, hasta más de 100 m. de profundidad, es más rica en oxígeno y carbónico libre que el substratum no alterado. El agua de lluvia, al penetrar en el suelo, arrastra al oxígeno atmosférico y los óxidos formados, así como bicarbonatos, carbonatos, carbónico y silicatos procedentes de destrucción de las sales silíceas hidratables, especialmente feldespatos y micas. De aquí se origina una lenta transformación química que viene acompañada de las creaciones consiguientes de potencial.

Otra fuente de corrientes de este tipo son los contactos entre rocas de distinta naturaleza, que siempre actúan unas sobre otras químicamente, con la polarización consiguiente.

b) *Electrodifusión.*

Si entran en contacto dos disoluciones de distintas concentraciones iónicas c_1 y c_2 se produce una tensión. Teóricamente, según indican los tratados de Química-Física (ley de Nernst):

$$\triangle V = 1'98 \cdot 10^{-4} \frac{t}{n} \frac{M_A - M_c}{M_A + M_c} \lg \frac{C_1}{C_2} \text{ volts.} \qquad [1]$$

donde M_A y M_c son las movilidades de anión y del catión, respectivamente; n es la valencia y t la temperatura absoluta, o sea, $273° + \Theta$ (temperatura centígrada). Para temperatura normal y disoluciones de cloruro sódico se tiene:

$$\triangle V = 11'6 \lg \frac{C_1}{C_2} mV \qquad [2]$$

Si tenemos en cuenta que para las concentraciones débiles del agua freática:

$$P_1 C_1 = P_2 C_2$$

se puede escribir:

$$\triangle V = 11'6 \lg \frac{P_2}{P_1} mV \qquad [3]$$

fórmula de uso casi general en nuestro subsuelo, donde las sales del agua freática, si no son cloruro sódico, pueden considerarse como equivalentes, al menos en casi toda la Meseta.

c) *Presiones de disolución.*

La existencia de diferencias de composición en el subsuelo origina también diferencias de presión de disolución de una parte a otra del mismo. Si suponemos P_1 y P_2 las de dos zonas en las cuales las concentraciones sean C_1 y C_2 se producirá una diferencia de potencial:

$$\triangle V = 1'98 \cdot 10^{-4} \frac{t}{n,} \lg \frac{P_1 - C_2}{C_1 - P_2} \text{ voltios} \qquad [4]$$

Por ejemplo, las presiones de disolución en la pirita pueden pasar de 10^{-6} a 10^{-10} kgs., por efecto de la corrosión de la pirita. Aun sin diferencia de concentración tendríamos, a temperatura normal, del orden del voltio.

d) *Electrofiltración.*

Al circular una corriente a través de un sólido permeable se produce en el seno de éste una tensión que tiende a originar una corriente eléctrica en el cuerpo opuesta en dirección a la del líquido, compensada por un transporte de masas eléctricas por aquél en el sentido de su movimiento. El incremento de potencial sigue la ley:

$$\triangle V = \frac{p \cdot P \cdot k}{4\pi \cdot \gamma \sigma}$$

donde γ y σ son la viscosidad y conductividad del líquido, γ la caída de presión, p un coeficiente que representa el potencial de contacto de agua intersticial con la circulante y K la constante dieléctrica del medio poroso. En la circulación de agua freática, en la que no suele haber ninguna diferencia entre el agua intersticial, y la que circula $p = l$, y la fórmula se simplifica tomando la forma práctica:

$$\triangle V = K_1 \cdot P \cdot l$$

donde l representa la distancia (en el sentido de la corriente entre P y Q) proyectada en la dirección de la circulación.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

e) *Corrientes telúricas.*

El campo magnético terrestre y el solar, principalmente, originan la creación de corrientes inducidas en la estructura del Planeta. Su estudio puede hacerse en varios tratados de Física del Globo, como, por ejemplo, en el tratado de W. J. Roonefy, «Earth Currents». Se observan variaciones diurnas, anuales y seculares, y también variaciones más o menos irregulares, debidas a tempestades magnéticas terrestres o solares.

En general, las variaciones son lentas y las tensiones mucho menores que las de otros orígenes. En el Observatorio del Ebro, en líneas de bastantes Km., se aprecian solamente milivoltios y decenas de milivoltios, como máximo, que se puedan atribuir a este origen.

3) IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS DISTINTAS CAUSAS DE TENSIÓN ESPONTÁNEA.

Sólo las corrientes telúricas afectan de una manera general a grandes zonas de terreno, y, como, salvo en casos excepcionales, cual momentos de tempestad magnética, son mucho menos importantes que las de otros orígenes y, además, constantes en grandes extensiones.

En terrenos geológicamente accidentados predominan, generalmente, las tensiones de origen químico y de presiones de disolución sobre las demás. Su medida permite la realización de trabajos muy notables de prospección, con resultados muy interesantes.

Las zonas inmediatas a los ríos o a los terrenos con aguas freáticas muy puras, en contacto con otros de mayor riqueza iónica crean tensiones por electrodifusión. Éstas suelen ser menos importantes que las anteriores.

Por último, en extensiones considerables en las que el terreno sea homogéneo y permeable, sin fisuras, se manifiestan claramente las tensiones creadas por la circulación del agua freática del orden de magnitud de las de electrodifusión y más débiles que las de origen químico de los contactos entre terrenos heterogéneos.

Por tanto, sólo los terrenos de estas características son adecuados para la investigación de las corrientes freáticas por los métodos de autopolarización, ya que en los más heterogéneos, las tensiones creadas por los contactos enmascaran las demás.

4) EL PROBLEMA PRÁCTICO QUE SE HA TRATADO DE RESOLVER.

En una zona amplia situada entre los ríos Tajo y Tiétar, por su divisoria, en la comarca de Oropesa, se extiende un amplio manto de arcosas levemente onduladas y en las cuales apenas se define la divisoria geográfica.

Cualquier accidente geológico del substratum puede modificar el funcionamiento de las corrientes freáticas en forma insospechada.

Basta (fig. 1) con una elevación del granito inferior para que la divisoria freática no coincida con la hidrográfica.

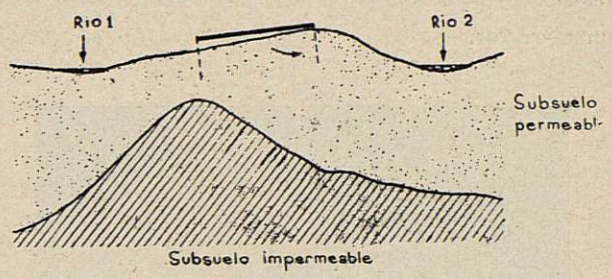


Fig. 1

Zona en la que la divisoria freática no coincide con la hidrográfica

Por tanto, para saber si una obra que precisa efectuar en un punto dado puede o no afectar a determinados pozos, ante la dificultad para emplear otros métodos, se ha recurrido al estudio de los potenciales de electrofiltración, con el interesante resultado que a continuación indicamos y que puede ser utilizado como método general para estudios freáticos en terrenos adecuados.

II

MÉTODOS DE TRABAJO Y EQUIPOS EMPLEADOS

1) ESTUDIOS PREVIOS.

Para realizar los trabajos definitivos de campo con alguna garantía, se considera preciso:

a) Efectuar una toma de muestras inalteradas.

b) Determinar la constante de electrofiltración de los terrenos sobre las muestras.

c) Estudiar las tensiones que, por otras causas, se

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

pudieran producir en los terrenos a la vista de las muestras extraídas.

Aunque de las cuestiones *a*) y *b*) nos hemos ocupado en otra publicación (Memorias de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo, 1949), indicaremos algo sobre ellos antes de seguir adelante.

2) TOMA DE MUESTRAS.

Conviene utilizar para la perforación una sonda de tamaño medio, e iniciar el taladro con diámetro grande. El trabajo se debe conducir en forma de obtener testigos sanos en todas las capas, utilizando una corona de «widia» para las rocas permeables fuertes. En rocas débiles se deben obtener probetas por medio de un extractor.

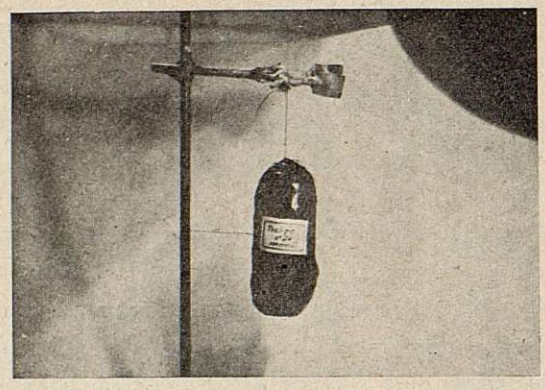


Fig. 2
Un testigo dispuesto para su transporte y conservación hasta el ensayo.

3) PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.

Los testigos se envuelven en papel impermeable apenas extraídos, y lo antes posible se substituirá esta envoltura por una de tela y «chatterton» fundido a 55°, del tipo utilizado por los fabricantes de pilas secas eléctricas, que adquiere elevada rigidez al solidificarse. Es muy importante que la temperatura de fusión no sea muy alta, para evitar toda evaporación del agua intersticial, que, además, originaría burbujas y huecos (fig. 2).

Una vez extraídos del baño de «chatterton», los testigos se conservan muy bien hasta su ensayo, ya que están totalmente aislados de las influencias atmosféricas y de la tendencia a deformarse lentamente que algunos presentan, gracias a su envoltura rígida.

4) ENSAYO DE LAS MISMAS.

Se ha utilizado un permeámetro que tiene dos piezas cónicas de bronce que se unen en caliente al testigo, garantizando así la estanqueidad de la junta.

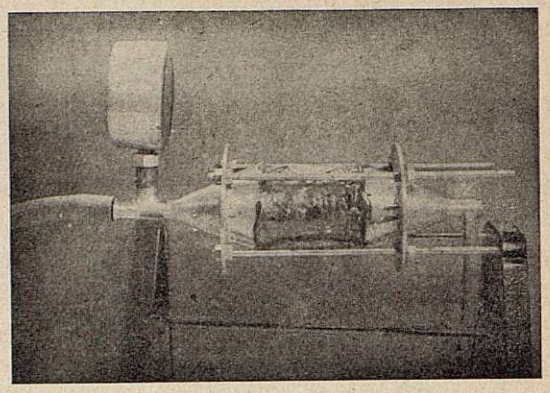


Fig. 3
Ensayo de un testigo.

Unas varillas roscadas permiten la unión de las dos piezas para asegurar así la estabilidad del conjunto (figuras 3 y 4).

La presión de entrada se mide con un manómetro de precisión, que puede ser de 0-1 ó 0-8 kgs./cm², según el alcance que más convenga, y la de la salida es la correspondiente a la toma media por donde vierte el agua en la probeta que sirve para hallar el caudal. Con la amplia gama de presiones que se puede dar

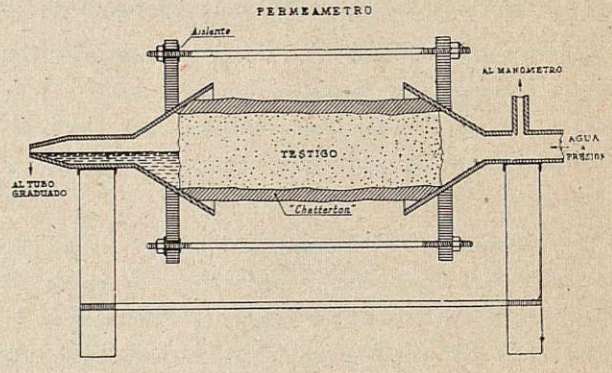


Fig. 4

con este aparato, pueden llevarse las filtraciones hasta el régimen turbulento, y aun pasar a la desorganización por deslavado, con interesantes resultados para otras cuestiones.

Al mismo tiempo que se efectúa el ensayo de per-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

meabilidad es conveniente tomar las medidas de la constante de electrofiltración.

De acuerdo con lo indicado en el párrafo 2 *d*) de la Parte I, se pueden clasificar los testigos por su tensión por m./lineal, o bien por sus tensiones con respecto a uno de ellos.

La tensión se mide con un voltímetro de válvula para tensiones continuas (tipo de acoplo directo). Se hace una medida, primero, en reposo y lecturas para cada caudal y para el reposo final. El momento de iniciarse el deslavamiento y desorganización del testigo se pone de relieve por una caída brusca de la tensión, creciente hasta allí, aunque no proporcional al caudal.

Si el testigo no es consistente, como sucede con las muestras arenosas, no puede emplearse el método anterior. Para este caso se utilizan dos trozos de tela metálica de cobre unidos a dos conductores que salen fuera del tubo de ensayo.

En estas medidas se debe comprobar que las resistencias de contacto de los electrodos sean suficientemente pequeñas para no introducir error en las determinaciones.

5) OTRAS CAUSAS DE TENSIÓN Y SU IMPORTANCIA.

En los testigos analizados, los valores medio por m. l. de las tensiones de electrofiltración son de 5 a 80 mV. por metro de presión, mientras que las polarizaciones en reposo son del orden de 1 a 2 mV. Estas polarizaciones no parecen presentarse en el terreno, o, por lo menos, más reducidas, y se deben, probablemente, al agua de ensayo, heterogénea respecto de la freática. Tomando puntos a 50 y 100 m. sobre la divisoria freática resultante no se observan más allá de 5 a 10 mV., lo cual es muy diferente de los 100 a 200 que serían de esperar si la muestra y el terreno estuvieran en las mismas condiciones.

En cambio, las polarizaciones de filtración se comprobaron fácilmente en el mismo formando un pocillo y vertiendo agua extraída de un pozo próximo.

Se obtuvieron así medidas del orden de las previstas por las de los testigos (20 a 100 mV. en 3 m., con presiones del orden de 50 cm. de agua), lo cual da mayor garantía a los resultados obtenidos a partir de los testigos.

Una exploración de la zona no reveló ninguna tensión de contacto, fáciles de distinguir por su disposición lineal sobre él.

6) RECONOCIMIENTO EN CADA PUNTO DE LA DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE FREÁTICA.

Si suponemos una zona de subsuelo homogéneo, permeable (fig. 5), por la cual circula el agua freática de manera uniforme, y dos electrodos de toma de potencial P y Q en su superficie, a distancia *d* y formando un ángulo α con la dirección de la corriente, la tensión entre ellos será:

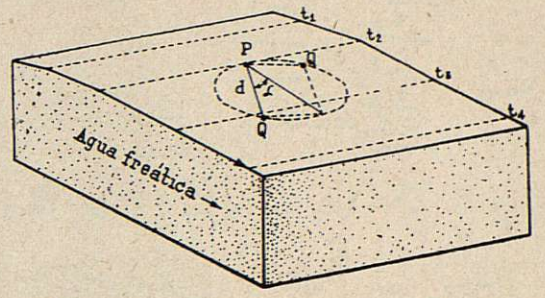


Fig. 5

$$V_S = V_Q - V_P = t_3 - t_2$$

correspondiente a las líneas equipotenciales que pasen por ellos.

A su vez, la diferencia entre estas tensiones será:

$$V_S = t_3 - t_2 = v_1 \cdot d \cdot \cos \alpha$$

designando por v_1 la diferencia de tensión por metro creada por la circulación inferior, puesto que $d \cdot \cos \alpha$ es la distancia entre las líneas equipotenciales.

Por tanto, si tomamos otra medida PQ′ normal a la anterior:

$$V'_S = v_1 \cdot d \cdot \operatorname{sen} \alpha$$

y de ambas:

$$v_1 = \frac{\sqrt{V_S^2 + V'^2_S}}{d}$$

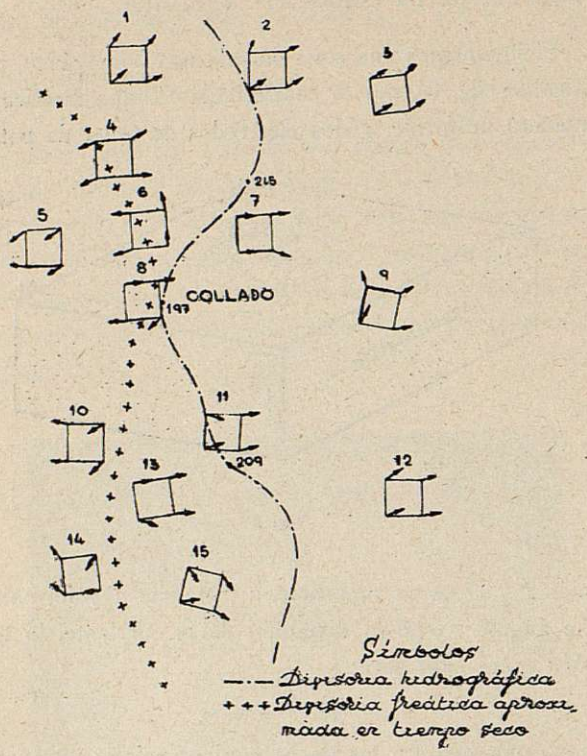
Por otra parte:

$$Tg\,\alpha = \frac{V'_S}{V_S}$$

y, por tanto, tenemos perfectamente determinada la dirección de la corriente con dos medidas perpendiculares. Como comprobación debe efectuarse alguna más.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Fig. 6
Parte S.E. Deresa Boyal
Plano de la zona estudiada Escala = 1:10000



7) DISPOSICIÓN ADOPTADA PARA LAS MEDIDAS.

Para cubrir en relativo poco tiempo extensiones importantes resulta preciso sistematizar el trabajo. En el caso indicado se distribuyeron por la zona que se deseaba explorar cuadros de 100 m. de lado con estaquillas a 25 m.

Se hicieron medidas entre estaquillas numeradas dentro del cuadro de manera sistemática, y, después, se redujeron las tensiones a voltios por m./l., con el fin de compararlas.

De ellas se dedujeron las direcciones y magnitudes de los vectores-tensión en todos los vértices, y se obtuvieron, finalmente, los resultados que indica la figura 6.

III

CONSTANTES DE ELECTROFILTRACIÓN

Como final, y por su posible utilidad para otros trabajos, resumiremos en un cuadro las constantes de electrofiltración obtenidas:

MUESTRA	Grado de presión en m. de agua	Permeabilidad en unid. c. g. s.	Tensión de electrofiltración en m/V ml.
Arcosa compacta Testigo 1	5,2	20.10^{-9}	50
	10,3	22. »	105
	15,5	23. »	165
	25,1	41. »	110
	35,8	58. »	85
Arcosa compacta Testigo 2	5,1	25. »	65
	10,0	27. »	130
	15,1	28. »	210
	21,5	34. »	235
	30,2	48. »	180
Arcosa calcárea Testigo 7	5,4	112. »	225
	10,1	120. »	440
	15,5	128. »	625
	20,2	135. »	700
	30,1	330. »	480
Arcosa suelta (arena gruesa) Muestra s. p. 1	0,10	18.10^{-5}	0,8
	0,50	19.10^{-5}	1,8
	0,70	30.10^{-5}	0,9
Arena fina Muestra s. p. 2	0,10	18.10^{-7}	1,9
	0,50	24.10^{-7}	6,3
	0,70	32.10^{-7}	4,2

Sólo se indican los ensayos que se pueden considerar correspondientes a tipos de terreno bien definidos (tipo I, testigos 1 y 2; tipo II, el 7; tipos III y IV, muestras 1 y 2).

Otros muchos testigos (3, 4, 10, 15, 12, etc.) se pueden asimilar a los 1 y 2 (tipo I), otros (5, 9, etc.), al 7 (tipo II).

La temperatura uniforme de agua y muestra durante los ensayos fué de 16° a 18°. Las medidas indicadas son valores medios de 4 ó 5 determinaciones para cada uno.

Mayo, 1950.

Al no presentarse objeciones, se pasa a la lectura del siguiente trabajo, número 187, del mismo autor:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.º 187. - Lagos y zonas glaciáricas del Noroeste de España

Autor: D. MARIANO FERNÁNDEZ BOLLO
Ingeniero de Caminos

I

ANTECEDENTES Y RESUMEN

El estudio de las zonas glaciáricas de las cordilleras montañosas tiene interés técnico creciente en la época actual.

Cuando las formaciones glaciáricas adquieren extensión suficiente, es fácil que constituyan la base de futuros aprovechamientos hidroeléctricos muy útiles para completar explotaciones de aguas abajo, y, en ciertos casos, pueden, tal vez, justificar la constitución de aprovechamientos independientes.

Durante los últimos años el autor ha hecho extensos recorridos por las zonas de erosión glaciárica en Sanabria (Zamora), Sierra de Quieja (Orense) y Sierra Calva (Orense), y ha señalado por primera vez las erosiones glaciáricas más occidentales en la Península, hasta la fecha.

Acerca de la Sierra de Queija indica algunas interesantes observaciones, deducidas del examen del mapa 1 : 50.000, el Sr. Hernández Pacheco (D. Francisco), en una nota publicada en el *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, con consideraciones morfológicas del mayor interés. (*Bol. R. S.*, tomo XLVII, núms. 1-2, enero 1949.)

En cuanto a la región sanabresa, donde desde muy antiguo es conocido el hecho, contamos, entre otras publicaciones, con la extensa de R. Stickel (Observaciones de morfología glaciárica en el NO. de España, *Bol. R. S.*, tomo XXIX, 1929) y los trabajos anteriores de Halbfass, Aragón y Taboada. También existe una monografía, núm. 5 de la «Serie de Trabajos Geológicos» del Museo de Ciencias Naturales, titulada «Lagos de la región leonesa», a la cual nos referiremos con frecuencia, de F. Aragón.

Todos estos trabajos, interesantísimos desde el punto de vista morfológico, no dan idea exacta de la importancia que, hidráulicamente, reviste el conjunto.

Para aclarar este punto se ha formado la presente colección de datos, que, aunque forzosamente incompleta aún, a falta de dos o tres excursiones, puede servir al fin deseado de dar a conocer un aspecto, en cierto modo nuevo, de una zona importante de la Península.

Los lagos, circos, morrenas, etc., se han agrupado por su situación geográfica en el orden N.-S., W.-E., dentro de cada unidad geográfica, y la zona total abarcada por estos estudios es la limitada, al N., por el paralelo 42°20′, y al S., por el 42°0′, así como al E. y W. por los meridianos 3°50′ y 3°.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Las sierras o macizos en que se han encontrado formaciones de origen glaciárico son, de W. a E.:

a) El Invernadero.

b) Macizo de Manzaneda (Sierra de Queija).

c) Sierra Calva.

d) Macizo Trevinca-Moncalvo-Sierra Segundera.

En extensión superficial el orden es: *d*), *b*), *a*), *c*), y en importancia de las lagunas: *d*), *c*), *b*), *a*).

II

MACIZOS OCCIDENTALES: EL INVERNADERO Y LA SIERRA DE QUEIJA

1) EL INVERNADERO.

Los montes del Invernadero constituyen una serie de plegamientos en los que predomina el silúrico en capas orientadas, con buzamientos fuertes al NE. o SW., según rumbo NW.-SE. En las cumbres dominan los crestones cuarcíticos, que dan aspecto típico y grandioso al paisaje hasta los 1.580 m. Por encima, una erosión antigua ha reducido la zona de cumbres a una altiplanicie con los circos de Piedras Labradas y Casarello, al S., y el de Cerveira, al W. Siguiendo el camino de Camba a Requejo se recorre un valle glaciárico de cabecera, anterior al circo de Casarello, que tiene un conato de lago glaciárico, denominado en el país Pozo Preto.

En total, se encuentran unos 8 km² de área que fué cubierta por las formaciones glaciáricas, acumulaciones morrénicas de poca importancia en el glaciar de Pozo Preto, un pequeño circo de cabecera en Vidos y tres grandes circos de erosión siempre al S. y W., de acuerdo con las observaciones climáticas de Hernández Pacheco (F.).

Debe hacerse notar que el circo de Piedras Labradas presentan un desnivel del orden de 380 m. de sus bordes al fondo, a causa de la disposición de las capas silúricas que han facilitado su formación, y que en todos estos circos la erosión fluvial ha profundizado muy intensamente las zonas inferiores de los mismos.

Como consecuencia de la existencia de estos accidentes glaciáricos, las aportaciones acuíferas del cauce general de desagüe «Ribeira Grande del Invernadeiro». se deben incrementar en primavera y primera parte del verano de forma notable sobre los cauces gemelos sin glaciar. Los naturales del país así parecen confirmarlo con sus apreciaciones. No llegan a formarse verdaderos lagos susceptibles de aprovechamiento hidroeléctrico directo. La zona alta permitiría la creación de un salto de 300 m., pero de escaso caudal.

2) SIERRA DE QUEIJA.

Desde el Invernadero hasta la Cabeza de Manzaneda se extiende un macizo que, en toda su zona central, es granítico, y en el cual las formaciones glaciáricas adquieren singular desarrollo.

Como en el caso anterior, existe una altiplanicie por encima de los 1.580 m. bordeada de huellas glaciáricas. La mayor extensión origina la creación de fenómenos más importantes, que, en mayor o menor grado, abarcan toda la periferia. Para su estudio consideraremos las partes N. y W. separadas de la Sur. Designamos a la primera como Cabeza de Manzaneda, y a la segunda, como Comarca Glariárica del Conselo.

3) CABEZA DE MANZANEDA.

Al W. se abren circos viejos cuyo origen glaciárico es difícil de reconocer, a causa de la intensa erosión fluvial. En efecto, allí las lluvias son muy intensas y, además, la nieve se acumula con más dificultad a causa del viento. Por tanto, se produce la particularidad indicada por Hernández Pacheco (F.) (op. cit.), de forma que los circos occidentales parecen representar una glaciación más antigua que no se repitió en el «Wurm», mientras que las partes oriental y S. continuaban su actividad hasta épocas relativamente recientes.

Se pueden citar, en el W. y N., el circo del Pozo da Moura, con un vestigio de laguna eventual; los restos, muy pintorescos, del circo de Palleiros, y otra laguna, eventual, a 1.400 m. de altitud, hoy casi totalmente rellena y que perteneció al tipo de ibón de divisoria, tan extendido en el Pirineo.

También al W., pero más al S., casi en el contacto del granito con el estrato-cristalino, se abre un gran

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

circo frente a Forcadas, pero la erosión moderna ha sido tan intensa que queda poco del viejo perfil glaciárico.

4) CABEZA DE MANZANEDA. ZONA ESTE.

En la parte oriental del macizo se hallan formaciones interesantísimas y muy bien conservadas, que se inician por el valle glaciárico del Auxiliadoiro Grande o Mundixoiro de S. Lázaro. Por él debía desembocar una buena parte del hielo de la altiplanicie, como lo indica la escasa importancia del circo en proporción al valle. Varias zonas rellenas señalan algunas lagunas cegadas, y constituyen hoy día interesante depósito regulador del río S. Lázaro, a 1.500 m. de altitud.

Siguen a estas formaciones las más bien conservadas del conjunto de los glaciares de Las Lamas y de Prada. Los circos presentan características bastante diferentes. El circo de Las Lamas se halla dividido en dos partes a niveles muy distintos, ya que la parte N. que contiene la Laguna Grande, único lago relativamente desarrollado en la región, tiene su fondo a 1.300 m., y el circo S., a 1.250 m. Los dos resultan separados por un crestón y una morrena rudimentaria.

El glaciar de Las Lamas se une con el de Prada para terminar juntos en una importante morrena frontal de 100 m. de altitud y que baja hasta los 1.100 m., con lo cual nos da idea de su importancia pretérita.

Sin duda, el Glaciar de Prada representa dos estados de actividad distintos, ya que posee amplio valle, de importancia desproporcionada con el circo de Colgatrabas, aunque éste sea también de grandes dimensiones. Puede que, originalmente, fuese el valle glaciárico de Prada salida del hielo de la altiplanicie en forma análoga al Mundixoiro de S. Lázaro, y después, reducido en sus dimensiones, acentuase con menos potencia erosiva el desnivel de su circo.

5) ZONA GLACIÁRICA DEL CONSELO.

Recorriendo la parte S. de la altiplanicie de Manzaneda, se observa que, así como NE. y W. queda cortada por abruptos escalones en los que se alojaron circos glaciáricos en el cuaternario, la zona S. presenta aspecto y morfología esencialmente distintos.

Hasta las proximidades de Chaguazoso se extiende una pendiente amplia y ondulada, que desciende en 9 km. 350 m.

Al S. de Chaguazoso nuevos desniveles bajan rápidamente hacia el valle del Conso, limitando la zona alta en declive que hemos citado. Por el SW., la línea de contacto del granito y el estrato cristalino crea un relieve a causa de la mayor resistencia a la erosión y la falta de cuenca receptora por la inmediación de la depresión que se presenta en las zonas de pizarras silurianas.

Avena toda esta zona el río Conselo, de la cual le damos nombre, y, salvo los accidentes locales de erosión fluvial o relleno de lagos, se viene a formar así un rectángulo de unos 16 km², cubierto de cantos erráticos, aborregado, y que muestra por doquier señales de extensa e intensa acción glaciar.

Como injertada en ella se hallan las morrenas y valle del glaciar del Conselo, así como el extenso circo de Guelianda, con su lago relleno y la cascada final (Cenza de Guelianda).

Creemos que, probablemente, estos accidentes morfológicos son los testigos de una extensa glaciación en la altiplanicie y de glaciares menos desarrollados, posteriores.

El regulador hidráulico que así resulta es muy interesante, tanto por su importancia como por su altitud, y, sin duda, el más digno de atención de toda la región.

Como detalle morfológico, muy interesante, queda el «campo de Brotiais», testigo de la vieja planicie que antes de las épocas glaciales debía extenderse ampliamente al S. de Manzaneda.

Finalmente, se ha construído un bloque esquemático para dar más idea de la morfología del macizo.

III

ZONA GLACIÁRICA DE SIERRA CALVA

1) MONTONTO Y LA SERPIENTE

Entre el vértice Montonto y los altos del Turrieiro existe un valle glaciárico bastante bien conservado, entre 1.650 y 1.700 m. de altitud, con algo de nevero orientado al S. en el Turrieiro.

En el puerto que comunica las cabeceras de los ríos Jares y Bibey, se halla un pequeño semicirco con un

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

típico ibón de divisoria, denominado Lago de la Serpiente, de aspecto y extensión análogos al de Ocelo, del que se habla después. Bajo él, un hermoso circo desfondado se abre hacia el Jares.

La conservación del lago se debe a su situación entre las cuarcitas de las crestas y a la falta de cuenca, que impide su relleno.

2) OCELO Y SEXTIL ALTO.

Al N. de la interesante y casi desconocida villa de Porto, poblado romano o, tal vez, anterior, alejado de toda vía de comunicación, donde sus 1.000 habitantes conservan particularidades lingüísticas y «folklóricas» olvidadas en las regiones circundantes, se halla la aparatosa Sierra Calva de Porto, formada por crestones de cuarcitas silúricas y filadios más o menos metamórficos.

Entre los vértices Tenchilde y Ocelo, y dominado por el Sextil Alto (1.754 m.), se halla un testigo más de la altiplanicie preglaciárica de que hemos encontrado otras muestras. En ella, de nuevo los glaciares cuaternarios, aquí poco desarrollados por falta de extensión de cuenca y que han adoptado la forma de glaciares de circo.

Bajo el Pico Ocelo se halla un bello circo, en cuarcita, con un lago profundo a su pie y un inicio de morrena en la margen izquierda de su emisario eventual. El lago tiene 200 × 80 m., aproximadamente.

Al S. del Sextil Alto se halla otro circo, más desarrollado y con una pequeña laguna permanente de unos 100 m. de diámetro. Debajo de este circo debió existir otro mucho más extenso en el río Canda, hoy destruído por la erosión fluvial.

Finalmente, en el Pico Tenchilde hay otros restos de un circo y morrenas. Hidráulicamente no son importantes, por su escasísima cuenca.

3) SEXTIL DEL POZO.

Al W. de Porto se hallan el Sextil Cerrado y el Sextil del Pozo, con su planicie correspondiente. En el Sextil del Pozo se observa una depresión interior que forma a modo de ibón de divisoria casi desaguado y neveros ya muy arruinados.

Es notable que las glaciaciones pequeñas descritas se hallan dispuestas al N. y W., y no al E., pero debe tenerse en cuenta que, en realidad, no son más que circos de divisoria.

IV.

ZONA GLACIÁRICA SEGUNDERA-TREVINCA

1) PARTE GENERAL.

Esta zona ha sido estudiada por los distintos autores citados en la primera parte de este trabajo, pero sus publicaciones tropezaron, sin duda, con las dificultades para recorrer las desoladas extensidades que precisa estudiar, sin alojamientos ni carreteras o caminos de carros próximos. La realización de los estudios hidroeléctricos ha dado facilidades que han permitido reconocer la comarca con más detalle.

Dada la extensión e importancia de la misma, separamos para esta cuarta parte las formaciones que se hallan al N. del río Segundera, y dejamos para una quinta las situadas al S. del mismo.

2) PEÑA TREVINCA.

Las Trevincas son vértices de una cresta de 2.100 m., silúrica, formada por cuarcitas muy metamorfizadas y pizarras silíceas duras. Al N. se abren hermosos circos, de los cuales los dos occidentales (Castaño y Survia), desfondados por la erosión fluvial, muestran escarpas del orden de los 500 a 600 m., verdaderamente imponentes.

Más al E. se halla el de La Baña, que, por verter a un curso fluvial de menos potencia erosiva (el alto Cabrera), conserva en el fondo de su corte de 600 m. de desnivel, dos lagos magníficos, descritos por Aragón en su trabajo ya citado y que muestran morrenas bien conservadas a 1.350 m. de altitud, que por su origen pizarroso tienen mucha menos importancia de la que ocuparían en terreno granítico.

A través de ellas se filtran las aguas del lago, alimentando una laguna inferior bastante menor. El lago tiene actualmente 550 × 250 m. y una zona rellena de casi otro tanto en cabecera. Aguas abajos del lago se extienden las muestras de la acción glaciárica, pero aún no hemos tenido ocasión de reconocerlo con detalle.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Puede decirse, que al W., el macizo de Peña Trevinca se une con el conjunto estudiado antes en la divisoria del Jares y del Bibey.

Por último, al S. se desarrolla la cabecera del gran valle glaciárico del Tera, formando a modo de un extenso circo con accidentes locales, entre los cuales se destacan dos niveles, de los que el superior representa probablemente las facies finales e iniciales del fenómeno glaciárico. En la unión del macizo de Trevinca con el de Moncalvo se hallan unos pequeños ibones de divisoria que se denominan las Mermineiras, en un pequeño circo afluente al Bibey superior.

Otra laguna de divisoria (Laguna Vidulente) se halla a unos 2.000 m. en el borde del circo de La Baña, simétrica, en cierto modo, de Las Mermineiras, y en el collado de enlace con la Sierra Cabrera Alta.

3) SIERRA CABRERA ALTA.

Desde Peña Trevinca hasta el collado Valmeano, se extiende la altiplanicie de Sierra Cabrera Alta, que vierte, con pendiente general suave, hacia el S. y SE. desde la línea de crestas del NE. Representa un testigo análogo a las otras altiplanicies estudiadas, y en ella se hallan bien diferenciadas las características de las vertientes N. y S.

Al N. y E. se halla el circo de La Baña y los de Cadabal y Montrabea, también del orden de 400 a 500 m. de desnivel, pero sin lago, desaparecido, sin duda, o tal vez no formado a causa de las menores aportaciones que esta zona de la sierra debe recibir.

Un pequeño ibón (Laguna Ríopedro) se aloja entre las cumbres que separan estos dos circos y vierte al Tera por un arroyo cuyo cauce muestra señales de intensa erosión glaciárica.

Al E., comarca que aún no hemos recorrido, termina en el probable circo que se denomina Hoya de la Trapa.

Algo al W. de este circo se halla un interesante curso, con muestras de erosión glaciárica, que recorre el arroyo Carambilla, con un circo desfondado cerca de S. Ciprián.

Al S. se halla la zona de cabecera del antiguo glaciar de Trefacio, con los circos y lagos de Cubillas y Los Peces. Estos dos lagos son importantes y se hallan a 1.890 y 1.790 m. de altitud.

Los emisarios se unen a un valle glaciárico, en parte, erosionado por el río Forcadura, y que vierte por un viejo circo en el valle de Vigo, extenso pueblo diseminado por el fondo de un valle glaciárico de la gran glaciación, hoy muy desfigurado.

Al S. sólo se hallan accidentes ligados con la unidad morfológica del lago de Sanabria, que estudiaremos más adelante.

4) MACIZO DEL MONCALVO.

El macizo del Moncalvo viene a ser simétrico respecto al Tera del de Sierra Cabrera Alta, pero, a favor de su mayor altura y situación al W., presenta más accidentes y fenómenos de erosión glaciárica que aquélla. Se extiende desde el collado de las Mermineiras hasta el valle del Arroyo Valdeinfierno, y está dominado por el vértice Moncalvo a 2.044 m. Posee este vértice dos circos: uno, al W., que vierte al Bibey, desfondado por la erosión y de imponente altura, y otro, al E., muy bien desarrollado. Este último comprende el circo y lago del Lacillo, con neveros que aún conservan muchos años nieve durante los veranos.

Al S. se hallan circos incipientes, como el de Herbosa y el de la Tolla alta de Valdeinfierno, con restos de lagunas cegadas o casi cegadas por la turba.

El lago del Lacillo, a 1.690 m. y de forma irregular, de unos 550 × 400 m., se indica erróneamente en muchos mapas como punto por donde pasa el Tera, por hacerlo así el mapa de Coello, base de muchos posteriores.

5) CUENCA DEL VALDEINFIERNO Y ZONA W.

El caudaloso arroyo Valdeinfierno señala una línea de interés tectónico continuada por el Covadosos, en la margen izquierda del Tera.

Por este portillo, abierto a las lluvias y nieves del W., han alcanzado éstas su cuenca, acreciendo su caudal y rellenando las lagunas del pretérito glaciar.

Hoy día sólo quedan sin cegar los ibones de divisoria, el principal de los cuales, Pies Juntos, vierte, al parecer, en el deshielo, a las dos cuencas, Valdeinfierno y Cárdena. Las lagunas del Infierno y Camposagrado jalonan también la divisoria.

De la altiplanicie descienden varios arroyos al W. (del Campo, Valdelastra), que forman el río Valdesirgas y se halla una prolongación de la meseta alta al

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

W. de este cauce. Dada su altitud, deben existir restos glaciáricos en ella, entre este río, el pueblo de Pías y el río Pedro, pero aún no hemos podido recorrer el interior del país.

6) CUENCA DEL RÍO LAGUNA CÁRDENA.

Al SE. de la cuenca del Valdeinfierno se halla extensa zona de erosión, designada por Stickel (obra citada) como de «lagunas rocosas». Sin duda, en la gran glaciación se crearon los fosos y aborregamientos que aún dan tan singular aspecto a la altiplanicie, aquí granítica en casi toda su totalidad, y posteriormente continuaron los fenómenos en menor escala.

Al E. se hallan dos circos y lagunas (Cuadro y Mancas), casi sin cuenca, que, por esta causa se conservan sin aterrar. Siguiendo al W. se halla el sistema de lagunas de Garandones, la laguna del Pallón, y, a continuación, el conjunto que desagua en Laguna Cárdena. Esta última recoge aguas de las de Roya y Suelto y presenta, por tanto, rellenos apreciables en cabecera. En su desagüe se hallan pequeñas morrenas. Su profundidad normal es del orden de 13 m.

V

LAGO DE SANABRIA, CUENCA DEL SEGUNDERA Y MACIZO DEL CABRIL

1) LA ZONA DEL LAGO DE SANABRIA.

Este lago (3 × 1,2 Km.) es perfectamente conocido por las obras y autores citados, y sólo indicaremos algo acerca de sus profundidades y zonas de erosión y aportación.

Ante todo, es de destacar el importantísimo relleno de la zona de cabecera, que, puesto de relieve por el aspecto externo se confirma por la profundidad, que se halla a poca distancia de la desembocadura del Tera (15 m.). Después crece ésta y llega a 48 m. cerca de la parte de agua abajo.

Entre la primera y la segunda morrena se ha sondeado hasta 50 m., para hallar la roca, lo que confirma la extensión de la vieja socavación glaciárica.

Las últimas morrenas llegan hasta más allá de Galende, a 5 Km. aguas abajo del lago. Por su extensión y forma indican que en la gran glaciación debieron pasar a casi 100 m. sobre el nivel actual del lago y, probablemente, unirse al glaciar de Forcadura y, tal vez, a otro que bajase desde S. Cristóbal, por Trefacio.

Aguas arriba, por los valles del Tera, Segundera y Laguna Cárdena, se halla un extenso caos glaciárico, con notables aborregamientos que indican un espesor del orden de 400 m. para el hielo del glaciar en la gran glaciación (véase sobre esto el trabajo de Stickel). La extensión en planta se ha indicado lo más exactamente posible en el mapa.

Merece ser recordado el circo glaciárico de San Martín y un pequeño circo adyacente, así como una laguna temporal de divisoria entre Vigo y el lago.

2) CUENCA DEL SEGUNDERA.

Buena parte del río corre por el caos glaciárico del lago, subsecuente con el rumbo tectónico del granito, pero, si examinamos la parte alta del curso, observamos rumbo muy distinto y con claras muestras de erosión glaciárica.

El origen del río se halla en dos circos poco acentuados, probablemente muy antiguos, conocidos en el país como Hoyos del Castillón, a 1.660 m. de altura. Al E. se hallan una serie de lagunas (Clara, Sol, Pedriña) que, por ser de divisoria, no se han rellenado totalmente como las del cauce del Segundera.

En un pequeño circo independiente se halla la laguna Resbaladia, con su desagüe y comunicación hacia el tramo del caos.

3) MACIZO CABRIL.

La altiplanicie que forma el macizo Cabril se extiende alrededor de los 1.800 m. de altitud, surcada por distintas huellas glaciáricas. Además de las lagunas Pedriña y Resbaladia, ya indicadas, existe, al Este, el Lago de Sotillo, de 600 × 300 m., provisto de una presa rudimentaria para mejorar los riegos de la vega, y el valle glaciárico de Vega del Teijo. En el curso que sigue a la unión de éstos, se halla una antigua laguna y el circo de erosión fluvial que señala el borde del glaciar primitivo.

Al S. aún hay otras dos lagunas: la de Los Medallones y la de la Mallada del Pico, así como varias más casi cegadas, en esta misma vertiente de Requejo. En el S. W., el circo de Río Pedro, homólogo del del Castillón, tiene huellas de neveros en su parte alta.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

VI

RESUMEN FINAL

Todas las zonas estudiadas embalsan, como mínimo, en los lagos, lagunas y tollas descritos, unos 200 millones de m^3, a una altura media de 1.300 m., tomando cifras prudentes. Con relativo poco costo esta capacidad natural se puede elevar fácilmente tanto como permita la pluviometría.

De ahí que esta zona sea hidroeléctricamente muy interesante y que desde antiguo se haya notado la importancia de sus caudales de verano.

Varias empresas hidroeléctricas se han ocupado en su utilización y aprovechamiento, y han facilitado así su estudio que también resulta útil para el general conocimiento de una región española casi ignorada para muchos, así como para tener idea más completa de la importancia real de las glaciaciones en nuestro país.

Resulta interesante observar que en estas altiplanicies no existen árboles más que, en todo caso, en los tajos de reciente erosión fluvial. Las viejas superficies que han resistido los arrasamientos desde las eras glaciales y que conservan fresca su topografía, sólo han sido defendidas por la tenaz red de las raíces del matorral y de la hierba alpina, piornos, retamas negras, etc. Su permanencia a favor del clima y rápida reposición natural, cuando, por alguna causa, desaparecen, ha protegido mejor al suelo que los robles, encinas y pinos de las laderas, con frecuencia descalzos y caídos a los cauces, como puede verse en Cuevas de Tera, cauce del río de Sotillo, del Segundera, de la Ribeira Grande del Invernadeiro, etc., etc.

Madrid, 15 mayo 1950.

Terminada esta exposición, el Sr. Presidente de la Mesa pregunta si no podría ocurrir que alguno de estos glaciares fueran seudo-glaciares, y dice que algunas de estas alturas tienen todos estos cóncavos, pero que no son verdaderamente glaciares, a lo que contesta el autor del trabajo diciendo que no son glaciares actualmente, sino que lo han sido en época remota.

El Sr. Presidente expone que va a leerse una ponencia que bajo el título "Problemas que plantea la sequía y medios para resolverlos", ha sido objeto de preparación por un grupo de ingenieros designados por el Instituto de Ingenieros Civiles, que fueron los siguientes:

Presidente: D. Joaquín Ximénez de Embún, Ingeniero de Montes.

Vocales: D. Pedro de Novo y Fernández Chicarro, Ingeniero de Minas.
D. Florentino Azpeitía Floren, Ingeniero de Montes.
D. Julián Carmona Rodríguez, Ingeniero Industrial.
D. Carlos E. Montañés Criguillón, Ingeniero Industrial.
D. Antonio del Águila y Rada, Ingeniero de Caminos.
D. Julio Jordana de Pozas, Ingeniero Agrónomo.
D. Enrique Becerril y A. Miralles, Ingeniero de Caminos.
D. José M.ª García Nájera, Ingeniero de Montes.
D. Víctor de Buen Lozano, Ingeniero Industrial.

Secretario: D. Ángel Martínez Borque, Ingeniero Agrónomo.

Los reunidos, dice el Presidente, tras varias sesiones celebradas oportunamente, elaboraron una Ponencia cuyas conclusiones provisionales, que se someten a la consideración de la Sección, son las siguientes:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

Problemas que plantea la sequía y medios para resolverlos
(PONENCIA)

CONCLUSIONES

1. La sequía, déficit en el balance entre el agua disponible y la necesaria, es consecuencia del clima y sus efectos perturbadores en la producción del suelo, energía hidroeléctrica y abastecimiento de aguas no pueden, por tanto, ser totalmente suprimidos, sino solamente atenuados.

2. El acopio de agua en embalses debe procurar el más perfecto aprovechamiento de las aportaciones hidráulicas; en consecuencia, deberán calcularse aquéllos con la amplitud conveniente para regulación anual o plurianual, considerando un ciclo normal de años medios, lluviosos y secos, con desembalse estival. Igualmente deberán tenerse en cuenta las posibles disminuciones de capacidad por sedimentación y arrastres, al objeto de prevenirlas en el orden técnico y económico.

3. Deberá estudiarse la posibilidad de embalses de reserva, utilizables sólo en períodos de excepcional sequía. Igualmente, podrá destinarse a este objeto una porción de la capacidad de otros embalses.

4. La creación de embalses de reserva para prevenir las sequías excepcionales debe ser considerado detenidamente mediante el oportuno y completo estudio.

5. Es fundamental la existencia de suelos adecuados, por lo que es ineludible defender los actuales y tratar de mejorarlos.

6. Ordenar para cada zona o comarca el aprovechamiento del suelo, delimitando los terrenos agrícolas y forestales, de modo que estos últimos constituyan perímetros lo más cerrados posible. A este efecto, conviene intensificar los trabajos de formación del Mapa Agronómico Nacional.

7. Proceder con la mayor intensidad posible a la repoblación forestal en las zonas en las que, conforme a la más conveniente distribución de cultivos, corresponda establecer o conservar el sistema forestal de utilización del suelo.

8. Ampliar y dar la necesaria eficacia a las disposiciones legales correspondientes, de forma que los planes de aprovechamiento integral de las aguas y del suelo obedezcan a una ordenación de conjunto de la economía de cada cuenca, concretando, no sólo las obras y trabajos hidráulicos, agrícolas y forestales necesarios, sino también la oportuna coordinación de los mismos respecto al ritmo de su ejecución y a las modificaciones de carácter social a que dé lugar la transformación proyectada.

9. Recomendar el estudio de un Plan Nacional de Alumbramiento de Aguas Subterráneas, no sólo me-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

diante el estudio geológico, sino también por medio del aforo metódico y continuo de los manantiales.

10. Por ser el agua el principal factor de limitación de nuestras cosechas en la España seca y por constituir el riego el único remedio verdaderamente eficaz para corregir la deficiencia de humedad de los terrenos, se considera necesario intensificar la acción del Estado en la creación de regadíos, por lo que precisa introducir en la legislación vigente las modificaciones convenientes para acelerar la terminación de los grandes sistemas hidráulicos de interés nacional y estimular la iniciativa privada en los regadíos que tengan este carácter.

11. En los terrenos agrícolas de secano y en los de regadío, deben intensificarse los trabajos de conservación de suelos, como medio eficaz para limitar los daños de la sequía, en los primeros, y aumentar la eficacia del riego, en los segundos. Además, en los regadíos, es preciso economizar el agua de riego, evitando pérdidas en las redes de conducción y distribución y mejorando los métodos de riego y de cultivo.

12. Los perjuicios que la sequía ocasiona a nuestra agricultura de secano pueden considerarse endémicos, por lo que, para atenuarlos, se considera urgente y del más alto interés el estudio sistemático y difusión de los métodos de cultivo que resulten de mayor eficacia y recomendar que el Estado procure y estimule su difusión, adoptando las medidas necesarias para conseguirlo.

13. Por la importancia que tiene para el mejor aprovechamiento de las precipitaciones el perfecto laboreo del terreno agrícola, es recomendable que el Estado procure se disponga de todos los medios necesarios, especialmente de tractores, con sus equipos adecuados, y de animales de tiro.

14. El hombre es uno de los principales factores de erosión del suelo, y este fenómeno está ligado íntimamente con el mejor aprovechamiento de las precipitaciones, por lo que deben estimarse a estos efectos, de gran importancia y trascendencia, cuantas medidas se refieran a las relaciones del hombre con la tierra y a la distribución de la población rural.

15. Es conveniente ayudar y fomentar, e incluso organizar en las zonas más áridas, la creación de aljibes y depósitos en los medios rurales; obras que permitan disminuir las pérdidas por evaporación y filtración y conservar mayores y mejores volúmenes de agua para el abastecimiento de campesinos, ganados, tractores, etc.

16. Es recomendable mantener la simultánea utilización agrícola y energética de los embalses, donde sea posible.

17. El sistema energético español requiere aumentar las reservas de energía estival, especialmente mediante aquellos embalses que, por el gran desnivel de aprovechamiento, tengan valor hidroeléctrico destacado. Tales embalses deben ser estimulados por el Estado mediante medidas de protección adecuadas.

18. El sistema energético español debe basarse primordialmente en la producción hidroeléctrica, sin perjuicio de contar con fuentes térmicas cuyas funciones preponderantes sean asegurar el suministro eléctrico en períodos excepcionales y servir los aumentos progresivos del consumo entre las sucesivas puestas en servicio de nuevos aprovechamientos hidráulicos, por lo que el Estado debe estimular a las empresas privadas para la construcción de las centrales térmicas precisas, pero sin olvidar que, dados los múltiples empleos de que son susceptibles el carbón y sus transformaciones químicas, debe reducirse cuanto se pueda la cuantía quemada para la producción energética.

19. Que para los momentos de penuria se tengan estudiados previamente procedimientos que eviten posibles faltas de equidad en el suministro a los usuarios.

20. Para conseguir un mejor aprovechamiento de la energía producida, evitando pérdidas que agravan el problema de su escasez, debe estimularse la mejora del rendimiento eléctrico y mecánico de las instalaciones industriales.

21. Completar y mejorar las observaciones del Servicio Meteorológico Nacional con la aspiración, entre otros fines, de determinar la frecuencia e intensidad de los períodos de sequía.

22. Interesa seguir atentamente las investigaciones que se realizan para provocar la lluvia artificial y las de rectificación y destilación de las aguas saladas.

23. Recoger en la legislación las propuestas contenidas en las anteriores conclusiones.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Abierto debate sobre las anteriores conclusiones de la Ponencia, interviene el Sr. Lorenzo Pardo, para decir que el trabajo leído es muy completo y que podría servir, con algunas variaciones, de tema para la discusión de las conclusiones.

Sigue diciendo que algunas observaciones de las expuestas pueden ser tomadas en consideración. Se refiere concretamente a los embalses de reserva para años excepcionales. Cree que son aplicables singularmente en aquellos casos en que las evaporaciones son escasas, y que este sistema fué ideal en el de Reinosa. Caso distinto es el del pantano de Cijara, situado en el curso medio del río, realmente en la cabecera de su sistema hidrográfico. Manifiesta que si se retienen siempre las aguas para cuando venga una eventualidad, se habrán perdido en aquella zona para la economía.

No hay que exagerar la nota de estas posibilidades de retención de agua a largo plazo y, en cambio, hay que dejar sentada la posibilidad de nuevos embalses.

El Sr. Del Águila interviene y dice: El asunto que se plantea es muy delicado, pero ya está dicho en la conclusión 4.ª leída que la creación de embalses de reserva para prevenir las sequías excepcionales debe ser considerado mediante el oportuno y completo estudio. En cuanto a la conclusión 6.ª, nos parece su redacción poco precisa, no se entiende bien qué debe comprenderse por perímetros lo más cerrados posible; la conclusión tiene más bien un carácter teórico, y las soluciones deben más bien ser prácticas y técnicas.

La conclusión 8.ª es bastante interesante. A nuestro modo de ver, la ordenación conjunta de la economía hidráulica de las cuencas debe realizarse a través de los organismos perfectamente conocidos en España, como son las Confederaciones y Divisiones Hidrográficas. De lo que podemos quejarnos es de que no se realicen las obras con la intensidad y la actividad que requieren las necesidades españolas; pero, naturalmente, ese es un problema fundamentalmente de previsión de fondos. Si a tales organismos se les dan suficientes medios podrán intensificar y desarrollar sus planes con mayor actividad.

Intervienen el Sr. Novo y otros congresistas, y la Presidencia, ante la escasez de tiempo, les ruega redacten las modificaciones que proponen para que la Ponencia final, al formular sus propuestas, pueda compulsarlas.

De nuevo interviene el Sr. Lorenzo Pardo ante la propuesta de establecer una votación para acuerdo, y dice que no debe llevarse a cabo ninguna votación, porque las conclusiones van a tener resonancia grande, puesto que han de ir a los Poderes Públicos.

Insiste en que se tomen acuerdos, que se modifique lo que se desee, pero que no se produzcan votaciones, lo que es aceptado.

El Sr. Herrán habla a continuación y expone que el procedimiento para seguir adelante es que los señores que han intervenido presenten a la Mesa sus modificaciones, y, como ha dicho muy bien el Sr. Lorenzo Pardo, si la Mesa necesita el auxilio de algunos elementos especializados que se les consulte y, juntamente con ellos, examine las modificaciones y las lleve al Pleno.

El Sr. Presidente le contesta diciendo: Aspiro a más; y es a que la Asamblea designe a los señores que han de venir a formular la Ponencia final.

Dice el Presidente que, de acuerdo con este criterio, quedan designados los señores Del Águila y Becerril, con algún otro nombre que se convenga. Y con ello po-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

demos dar por terminado el examen de la Ponencia y oír al Sr. Lorenzo Pardo, que tiene un trabajo presentado que, como suyo, es importante.

A continuación se entrega a la Mesa un escrito conteniendo propuesta de modificación de las conclusiones por los Sres. Becerril y Del Águila, que se reproduce a continuación:

"Los ingenieros que suscriben, que han participado en las labores de la Ponencia para redactar las conclusiones provisionales de la misma respecto al tema número 12, entienden necesario manifestar sus personales opiniones respecto a algunos puntos de las mismas, al objeto de que puedan ser tenidas en cuenta en la oportuna discusión.

Tales observaciones son las siguientes:

CONCLUSIÓN 6.ª

Dada la multiplicidad de circunstancias que concurren en la determinación del cultivo de cada parcela, la delimitación sistemática de los terrenos agrícolas y forestales tiene un sentido puramente teórico, por lo cual esta conclusión debe suprimirse.

CONCLUSIÓN 8.ª

La ordenación conjunta de la economía hidráulica de cada cuenca puede realizarse por medio de las Confederaciones Hidrográficas. La función del Gobierno sería estimular su actividad. En tanto, es innecesaria las conclusión referida.

CONCLUSIÓN 9.ª

Entienden los autores que es desproporcionada la extensión de la labor a que se refiere esta conclusión con sus resultados prácticos, y que no hay, por tanto, inconveniente en dejar en plena libertad a la iniciativa privada para la ejecución de alumbramiento de aguas subterráneas, sin perjuicio de que, en el orden general, pudiera aconsejarse la intervención de la Confederación o Delegación Hidrográfica.

CONCLUSIÓN 10

Se señala la contradicción en que en el preámbulo de esta conclusión incurre en relación con la conclusión 11.

CONCLUSIÓN 14

La conclusión tiene una excesiva vaguedad y su aplicación con carácter general pudiera conducir a verdaderos trastornos sociales; sin perjuicio de aceptar las modificaciones que respecto a la distribución de la población rural pudieran resultar de las grandes obras hidráulicas y en particular del establecimiento de nuevos regadíos, debe tenerse en cuenta que la formación de los núcleos urbanos es consecuencia natural de multitud de circunstancias, por lo que deben evitarse intervenciones innecesarias.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CONCLUSIÓN 19

Debe suprimirse por innecesaria.

CONCLUSIÓN 20

Debe igualmente suprimirse por innecesaria.

CONCLUSIÓN 23

No concretado el contenido legislativo, debe suprimirse la conclusión."

Concedida la palabra al Sr. Lorenzo Pardo, expone su trabajo, núm. 292, titulado:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.º 292. - HIDROLOGÍA PENINSULAR

Autor: D. MANUEL LORENZO PARDO
Ingeniero de Caminos

UN PROGRAMA DE ESTUDIO

La lectura de los copiosos y notables Relatorios del Servicio Hidrográfico portugués, encomendado a la Junta Autónoma de las obras de Hidráulica Agrícola, sugiere la idea de aprovechar sus enseñanzas y de buscar en sus resultados una comprobación de los que, actuando sobre una zona más extensa y, en general, dominante y vertiente, la técnica española ha logrado obtener.

Inmediatamente se presenta, sin embargo, la dificultad esencial, que es causante de este programa de estudio.

La imposibilidad de abarcar, no sólo el conjunto hidrográfico peninsular, sino incluso las unidades geográficas esenciales, se pone de manifiesto al recordar la que existe para lograr una representación acorde del relieve, de la naturaleza del suelo y de su vegetación; de un mapa esquemático de la distribución media anual de las lluvias referente a igual período y trazado con criterio semejante para garantía en la correspondencia.

Menor número de datos y mucho más difícilmente aprovechable tenemos sobre aforos de corrientes. Refiriéndonos, naturalmente, a períodos de normalidad funcional de todos los organismos del Estado español, los últimos datos publicados son los correspondientes al período 1942-43, poco más de los recogidos y analizados para servir de base al Plan Nacional de Obras Hidráulicas formado por el Centro de Estudios Hidrográficos. En Portugal, en cambio, los primeros volúmenes de la benemérita Junta Autónoma de Hidráulica Agrícola, corresponden al año 1936 y los últimos publicados son poco posteriores. No hay, pues, un solape suficiente en los plazos, ni aun contando con el conocimiento de los datos más recientes, naturalmente, reservados a los organismos oficiales hasta el momento de la publicación.

Y menos aún existe esta posibilidad en otras observaciones de carácter meteorológico y geofísico, y muchísimo menos si se atienden aspectos del cuadro de observaciones y conocimientos que Ratzel, su creador, calificó de Antropogeografía y que J. Brunhes ha sistematizado bajo el título de geografía humana, tan expresivo y prometedor.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

En anteriores empeños (1), entre ellos, el citado, fué preciso salir a ese gran campo que es también el de la Economía y la Política, por el camino de los aprovechamientos hidráulicos y de sus aplicaciones diversas, y forzoso será hacerlo en lo sucesivo, pues las aguas no sólo son el agente más poderoso y eficaz de modificación del relieve del suelo y de su modelado, sino el elemento geográfico más activo e influyente sobre la población de nuestros países. La línea de contacto entre los dos campos es continua y extensa, y la separación tan débil e insegura, que la transgresión se efectúa de modo natural y, por decirlo así, involuntario, como lo muestra la simple consideración de la influencia que puede alcanzar el estudio de un solo rasgo sobre la riqueza y la vida de las poblaciones ribereñas: el de las avenidas en los grandes ríos comunes.

La aspiración de este programa es más limitada, aun dentro de su modestia real, y se contrae a aspectos puramente físicos, con notoria preponderancia del estadístico, desde el punto de vista español.

Igualmente requiere explicación, que puede ser muy breve, el título mismo. El empleo casi simultáneo, a veces, alternando, de los términos, hidráulico, hidrográfico, hidrológico y aun hidronómico, induce a frecuentes confusiones y dudas, aunque casi siempre sin motivo o razón. En el presente caso no puede haberla si se precisa la finalidad, que no es otra que la de lograr representaciones suficientes y suficientemente expresivas de observaciones comparables y aprovechables por ambos países para el estudio de la circulación fluvial. Los trabajos indispensables serán, ciertamente, hidrológicos, como los califica de manera sistemática y exlusiva Lugeón (2), como son meteorológicos cuantos trabajos y estudios relativos a la atmósfera sirven para las representaciones meteorográficas que aprovecha la geografía analítica y explicativa y aún la simplemente descriptiva, pero los resultados aprovechables serán, por necesidad, hidrográficos y de análogo carácter de los que exige cualquier empeño geográfico con su base obligada de mapas, cartas y planos, y su cortejo de esquemas, diagramas y perfiles, figuras y líneas con sus medidas y acotaciones.

* * *

Con estas advertencias pasaremos revista a los elementos escalonadamente indispensables para el estudio de la hidrografía peninsular, y, para cada uno de ellos, a las correspondientes disponibilidades y deficiencias.

Como elemento primario figura el mapa topográfico con líneas isohypsas o de nivel constante, el que pudiéramos llamar de detalle, aun cuando éste sea insuficiente para la mayor parte de las aplicaciones y aun para ciertos estudios de alcance comarcal. En épocas recientes se ha avanzado mucho en España en la preparación y publicación de las hojas del adoptado —escala 1/50.000—. En extensas zonas y en diversos itinerarios se dispone, además, de representaciones fotogramétricas, en escala 1/10.000, formadas como síntesis de copias de «clichés» aerofotográficos que consienten escala aún mayor. Acelerar aquel mapa básico y formar los fotoplanos más necesarios fué empeño inicial de la Confederación del Ebro, cumplido en el curso de su existencia (1927-1930) y seguido por las sucesivas. La cuenca del Ebro en su casi totalidad, la del Guadalquivir y las cabeceras de las restantes en general, están cubiertas por las hojas publicadas ya del mapa topográfico. Faltan algunas zonas extensas, sobre todo, hacia el O. regiones fronterizas con Portugal, pero lo que hay ya puede servir de base para muchas representaciones y estudios, así como de creciente estímulo para seguir hasta el fin.

En cuanto a Portugal, los mapas que figuran en algunos de los últimos Relatorios de la Junta Autónoma revelan gran amplitud cartográfica, y algunos planos, como el general de los proyectos de la Ribeira de Arade, elevada técnica topográfica (3).

No será, pues, difícil ni prematura la iniciación de representaciones esquemáticas con amplitud suficiente y aproximación bastante para la mayor parte de los trabajos hidrológicos que exigen base más precisa y desahogada de la que pueden ofrecer los mapas murales de uso corriente. Un buen mapa del tipo y tamaño del que hizo editar para sus trabajos el Centro

(1) Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro, Organización de Servicios en 1926.
Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid. Plan Nacional de Obras Hidráulicas, 1932.
División Hidráulica del Ebro. Estudio de la regulación del río y de su embalse regulador de cabecera.

(2) J. Lugeón: «Precipitations atmospheriques, Ecoulement et Hydroelectricité», París. Dunod, Editeur, 1928.

(3) Relatorio 1937. Pág. 188. Cuenca del río Mondego. Página 78. Ribeira de Arade no casa Queimada.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de Estudios Hidrográficos (1/400.000) podría bastar para los de carácter general, y su preparación y revisión periódica, con atención especial y preferente hacia la red hidrográfica y hacia las divisorias de aguas, limnografía, endorreísmo..., constituir un estudio previo, un trabajo inicial aunque no exclusivo, pues en él habrían de colaborar, naturalmente, los organismos dedicados a la cartografía de cada país.

Algo semejante puede decirse del mapa geológico, que ya existe en España desde 1879, pero que se va concretando, detallando y perfeccionando mediante el estudio y publicación de hojas que se corresponden con las del mapa topográfico nacional. Igualmente aplicable es lo indicado respecto a la procedencia de los materiales utilizados y a las colaboraciones del organismo encargado de este trabajo; en España, el meritísimo Instituto Geológico, que cuenta, además, en su haber con muchas y notables monografías y memorias descriptivas en las que, con frecuencia, está examinado el aspecto hidrológico. Cuentan, además, con muchas aportaciones valiosas de otros centros, entidades oficiales y colectividades, y aún de particulares, y su número aumenta sin cesar.

Aun cuando otra cosa pudiera creerse pensando en la profundidad a que han llegado algunos reconocimientos directos, y al espesor que, desde otros puntos de vista, nos parece tan grande, que han llegado a abarcar los estudios de estratigrafía y tectónica, lo conocido e inducido es bien poco relativamente al volumen de nuestro planeta. Constituye, en comparación con ese volumen, leve película envolvente y no rebasa la categoría de elemento coadyuvante al conocimiento de la zona de contacto de los tres elementos, sólido, líquido y gaseoso, que constituye el escenario de la vida humana. Queda, pues, dentro del cuadro esencialmente geográfico con títulos comparables, poco mayores, aunque muy legítimos y claros, a los del mapa edafológico, que se refiere concretamente al origen, naturaleza y caracteres de los suelos, elemento más superficial aún y que, por lo mismo, se encuentra en la propia separación de la antropogeografía, por razón de sus inmediatas aplicaciones a nuestras necesidades primeras y más perentorias.

Es éste un nuevo elemento con el que también se cuenta ya, o, por lo menos, con muy estimables avances, entre ellos el formado por el mismo Centro de Estudios Hidrográficos, tomando como base los trabajos de reconocimientos y laboratorio del Sr. Huguet del Villar, Presidente a la sazón de la Subcomisión de los Suelos Mediterráneos, cuyo mapa fué presentado y expuesto con otros trabajos de igual procedencia, y concretamente hidrográficos, en la Exposición aneja al Congreso de la Ciencia del Suelo celebrado en Oxford en agosto de 1935 e incorporado al mapa edafológico de Europa.

Complemento de los anteriores, y como ellos, debidos en gran parte a competencias colaboradoras, debieran ser otras representaciones como las correspondientes a mapas fitogeográficos, forestal, agronómico de zonas regadas o regables, obras de derivación y represamiento..., realidades económicas diversas, demográficas..., todos ellos expresivos de otras tantas causas más o menos influyentes sobre la circulación de las aguas superficiales y su aprovechamiento.

Los mapas, aun detallados, constituyen representación insuficiente de los cauces mismos. Será preciso completarla por medio de perfiles a cuyo trazado deben servir de base itinerarios y nivelaciones de muy variable precisión. Tales perfiles pueden ser trazados y analizados aisladamente o superpuestos para dar lugar a una representación conjunta de los rasgos esenciales de la red hidrográfica correspondiente, según se ha realizado ya (4).

La precisión de estos perfiles, algunos muy notables desde otros puntos de vista (5), es insuficiente para las necesidades de un estudio hidrográfico. Nosotros mismos que habíamos seguido su itinerario, practicado reiterados reconocimientos y trazado y revisado el perfil del Ebro, entre otros, reconociéndolo así, señalamos ésta como atención previa y urgente, como uno de los primeros y principales cometidos de la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro, que contaba en su zona con un tramo verdaderamente fluvial y navegable. Las nivelaciones correspondientes de precisión variable con las condiciones de lugar y, en pri-

(4) Pedro Antonio de Mesa, Ingeniero Jefe de Caminos, Canales y Puertos: «Reconocimiento hidrológico de los valles del Ebro y del Guadalquivir». Madrid, 1865.

Pedro M. González Quijano: «Avance para una evaluación de la energía hidráulica de España», Madrid, 1932.

(5) Fausto Elío, Ingeniero de Caminos: «Itinerario del Júcar».

Servicio Hidráulico del Guadalquivir. Estadística de los aprovechamientos de los ríos Guadalquivir, Guadaira y Carbones.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mer término, con la pendiente y la categoría del cauce, se desarrollaron a lo largo de los ríos Ebro, Segre, Cinca y Aragón, tronco y ramas principales de la red (1927), sirviendo de base la primera, que era, naturalmente, más precisa (6) para la formación de un perfil detallado, verdaderamente hidrográfico por las referencias que da y los datos que registra, que conjugado con la representación fotogramétrica, constituye singular instrumento de trabajo para los más variados estudios (7).

Los restantes grandes ríos peninsulares, entre ellos, los atlánticos internacionales, habrán de ser en su día objeto de atención comparable, ofreciendo a España la ocasión de prestar a su hermana peninsular el inestimable servicio de una protección positiva de la vida desarrollada en sus espléndidas zonas ribereñas. El interés inicialmente científico de estos trabajos cambiará bien pronto de carácter, adquiriendo otro de utilidad práctica e inmediata, cuya beneficiosa influencia sobre las relaciones internacionales parece indudable.

Se ha podido decir, y con razón (8), que la coexistencia histórica de las dos naciones peninsulares es debida a los profundos cañones de tres grandes ríos y de sus principales afluentes; frontera natural, dice Brunhes (9), más eficaz, como línea de separación y de aislamiento, que muchas cordilleras, lo que atribuye a Portugal, influído hasta la entraña por el mar, que penetra profundamente por sus estuarios, carácter esencialmente marítimo y espíritu comercial e irradiante. Pero, aun siendo así desde más de un punto de vista, es indudable que tales cañones no ofrecen obstáculo a la relación establecida por el agua misma, y aún brindan posibilidades que la gran empresa de los saltos del Duero ha puesto bien de manifiesto. También lo es que, si en España han sido observadas y medidas, mucho más si han sido dominadas y sometidas al arbitrio humano, esas aguas llevarán a Portugal un mensaje de cordial solidaridad. La colaboración portuguesa a estos estudios quedará pronto recompensada con importantísimos beneficios que ningún español dejará de celebrar.

Ahora bien, para la representación definitiva de lo que, siguiendo la nomenclatura de la moderna ciencia geográfica, podríamos calificar de realidad de conjunto, de *fait de masse*, los perfiles, que son indispensables, son ya insuficientes; hay que volver de nuevo al mapa como elemento de trabazón y síntesis con nuevos tipos de representación y medios de análisis, uno de los cuales, el de las *curvas isoclinas*, o *isofluvioclinas* que propusimos recientemente (10) podría servir para rectificar en parte una idea excesivamente generalizada, incluso para descubrir o poner de manifiesto interesantes posibilidades de prosperidad y de conexión.

* * *

El origen de las aguas superficiales es exclusivamente meteórico. Las que no proceden de precipitaciones inmediatamente anteriores, tienen su origen aparente en manantiales o exudaciones; a veces, en su curso descendente, han pasado por diversas situaciones, pero su primitivo origen es siempre el mismo. El mismo tienen las precipitaciones registrables y medibles que las llamadas ocultas, que no pueden ser medidas por medios de los aparatos de uso corriente.

En nuestras latitudes y en las temperies habituales de nuestras cuencas, el hidrometeoro más frecuente y copioso es la lluvia, y el aparato más generalizado para su observación, el pluviómetro. Es corriente en España el uso del tipo Hellman, que fué el adoptado por el Servicio Meteorológico Nacional. Pero no faltan, incluso son extensas, las zonas sobre las que cae nieve abundante cuya medida con aquel aparato no puede ofrecer garantías de aproximación a la realidad, por lo cual se aconsejaba la práctica de mediciones directas, que tampoco son muy recomendables.

Para obviar esta dificultad y, al propio tiempo, para contar con el dato global correspondiente a largos períodos en sitios poco accesibles por su situación, altitud y alejamiento de lugar habitado, se establecieron, primeramente, en la cuenca alta del Ebro y, singularmente, en el Pirineo, varios nivómetros y totalizado-

(6) Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro. Publicaciones monográficas. Tomo XV. 1928. Pág. 43.

(7) Entre otros los de propagación de avenidas, su anuncio y previsión, así como los de aprovechamiento aislado y conjunto de las aguas en riego, producción de energía y navegación.

(8) Theobald Fischer: «Die Sudeuropaischen Halbinseln. Unser wiesen von Erde». Leipzig 1893.

(9) Jean Brunhes: «La Geographie humaine». Tomo I. Principes de conexión. pág. 28.

(10) M. Lorenzo Pardo: «La navegación fluvial». Conferencia en el curso dedicado a Obras Hidráulicas por el Instituto de Ingenieros de España. Madrid, 1941.

Son las que resultarían de unir los lugares de igual pendiente máxima descendente y mínima ascendente, de los cauces.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

res de montaña (11) que proporcionaron nuevos datos de extraordinario interés.

La densidad de la red pluviométrica española es muy irregular, pues, mientras en la referida cuenca del Ebro el *coeficiente pluviotopográfico* llegó a ser de 0,66 en 1929 (12), comparable con el de Suiza en 1923, en todo el territorio español sólo alcanzaba en 1932 un valor medio de 0,18, aun contando las estaciones que llevaban menos de tres años de observación (13), lo que, teniendo en cuenta la mayor densidad de aquella zona, y las de Navarra y Cataluña y Valencia, denota muy bajo valor en el resto.

La irregularidad subsiste, naturalmente, y la distribución aproximada también (14), pero lo registrado ofrece base suficiente para la formación de un mapa pluviométrico cuyas curvas isoyetas enlazan bien con las correspondientes de los mapas portugués y francés, señalando particularidades de las distribuciones pluviométricas de la zona pirenaica inadvertidas en mapas anteriores.

El mapa de referencia publicado ya sin fecha, fué uno de los últimos trabajos realizados por el Centro de Estudios Hidrográficos disuelto en 1936, y se hizo sobre el mapa orohidrográfico en escala 1/400.000, ya citado. El enlace con el mapa francés correspondiente al mismo período es, como decimos, verdaderamente satisfactorio, aunque allí el Servicio correspondiente parece haber seguido en muchas interpolaciones el criterio de relación directa con la altitud, que en el nuestro sólo se aceptó como criterio auxiliar (15). El enlace con el mapa pluviométrico portugués fué tanto o más fácil, no obstante la densidad mucho menor de la red española en la zona limítrofe, lo que es explicable por la mayor suavidad de las curvas y más bajo gradiente pluviométrico general.

Las medias utilizadas en nuestros mapas pluviométricos (en casi todos) lo son de un número de observaciones generalmente escaso, en algunos observatorios muy escaso, lo que les atribuye simple valor indiciario, pero se aproximan muy rápidamente al valor exacto que comprende a un número infinito de observaciones al crecer el número de años de observación. Los errores fortuitos, que son objeto del cálculo de probabilidades, decrecen tan rápidamente que pueden ser considerados como exactos los valores deducidos de las observaciones de veinte años, plazo que alcanzarán en breve los Observatorios españoles que no han visto interrumpido su servicio por las perturbaciones pasadas (16).

El mapa pluviométrico formado por el Centro de Estudios Hidrográficos corresponde al decenio 1920-1930, y constituye, a pesar de su relativa antigüedad, útil instrumento de trabajo susceptible de muy variados aprovechamientos.

Un crecido número de los valores medios utilizados para el trazado de las curvas isoyetas, corresponden a estaciones de observación incompleta y han sido deducidos por comparación con los ofrecidos por estaciones que han funcionado durante todo el período. Se han obtenido así valores probables que, en general, sólo han sido aprovechados para conseguir mayor verosimilitud en el trazado, con el auxilio de las relaciones de variación de la precipitación con la altitud. Desde este punto de vista, la contribución de las muchas estaciones establecidas por la Confederación del Ebro, es estimabilísima y atribuye su verdadero valor al citado mapa, en el cual se registran también los datos correspondientes al plazo 1926-1931, no tomados en consideración en los mapas anteriores y no registrables después, pues corresponden a estaciones pluviométricas abandonadas o suspendidas.

Complemento de ese mapa hubiera sido el dedicado a la distribución del módulo pluviométrico, o sea de

11) El modelo adoptado para estos aparatos totalizadores fué el de Mongús. Los pluviógrafos y pluvionivógrafos eran del modelo Hellman-Fuess.

(12) M. Lorenzo Pardo: «Noticia breve del plan de aprovechamiento integral de los recursos hidráulicos de las cuenca del Ebro.

W. P. C. Barcelona, 1929.

Tomo I, pág. 196. Pío Pita: «Red Meteorológica de la cuenca del Ebro. Observación, registro y aprovechamiento de los datos».

W. P. C. Tomo I, pág. 17.

(13) Pedro M. González Quijano, ob. cit., pág. 32.

(14) Resumen de las observaciones meteorológicas. Años 1930 y 1931. Servicio Central Meteorológico. Ministerio del Aire. Madrid, 1940.

(15) J. Lugeon, ob. cit., pág. 44.

(16) Lugeon reproduce en la ob. cit., pág. 22, el cálculo correspondiente al Observatorio de Ginebra y las medidas de observaciones efectuadas durante plazos variables entre dos y cincuenta años (1876-1925). La media correspondiente a un plazo de veinticinco años (1901-1925), sólo difiere de la del plazo total en 10 mm., que en relación con el valor absoluto, que es de 904,2 mm., es tan sólo de un 1 % que queda muy por bajo del error instrumental.

Al plazo de diez años le corresponde, según el mismo cálculo, un error de 8,2 %, que es admisible para un avance.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la cantidad de agua caída por kilómetro cuadrado de cuenca vertiente a cada lugar de las corrientes evacuadoras. Tal mapa, en efecto, constituye elemento básico para la formación del correspondiente a la distribución geográfica del coeficiente de escorrentía.

Pero no sólo interesa la distribución de estos valores en el espacio: tanto o más puede llegar a interesar su variación en el transcurso del tiempo, lo que exige, naturalmente, su colaboración. En este aspecto los trabajos interrumpidos en 1936 y no reanudados después, hubieran perfeccionado los anteriores en proporción mayor.

Si se refieren las observaciones correspondientes a cada año a la lluvia media anual durante todo el período abarcado, se obtienen coeficientes que dan una primera idea global de la condición pluviométrica del año en cada lugar. Para el trazado de las curvas isanómalas correspondientes en 1926, González Quijano tan sólo pudo aprovechar 141 estaciones (17), o sea un 13 % de las utilizadas para el correspondiente mapa de lluvias medias; número considerablemente rebasado en 1931, a pesar de lo cual los resultados no hubieran perdido el carácter de esquemas para cuyo trazado verosímil es indispensable el concurso de una gran experiencia adquirida en el transcurso de muchos años de observación, de frecuentes viajes y aun de largas estancias en diversas comarcas, todo lo cual podrá ser substituído por multiplicación sucesiva de observatorios y medidas, con notoria y general ventaja.

Pocas reflexiones bastarán para adquirir idea justa de la influencia de estas variaciones de la lluvia anual.

La lluvia media general sobre toda la Península sería suficiente para las necesidades agrícolas si se distribuyera uniformemente o de modo menos distante de la uniformidad, y sí, además, no variara tanto como varía de unos años a otros. En 645 mm. lo calcula González Quijano (18), aunque señala la de 555 mm., que es la mediana, como más expresiva de la pluviometría peninsular. Según el nuevo mapa de 1931, la lluvia media resulta algo mayor al tomar en cuenta la medida en zonas más accidentadas y lluviosas; en cambio, señalamos una más baja que aquella mediana como cota pluviométrica de la curva separatriz de las zonas de preponderancia industrial y agrícola (19) en el aprovechamiento de las aguas, para estimar y valorar debidamente la influencia de otros rasgos meteorológicos y, sobre todo, la de esta variabilidad.

La variación con el tiempo acentúa, en efecto, la desigualdad en la distribución, agravando la escasez en las zonas menos lluviosas. Clasificadas las variaciones respecto de la media anual del período completo, resulta que, en general, la más probable es la lluvia equivalente al 90 % de la media, pero lluvias bastante menores, insuficientes para la inmediata necesidad agrícola, alcanzan probabilidades elevadas que influyen de modo lamentable en la vida general del país que las sufre, sobre todo si los años de insuficiencia se suceden formando grupos, como suele (20).

No basta, por consiguiente, con el estudio de las oscilaciones y de sus frecuencias referidas al territorio total, sino que habrá que estudiar su distribución geográfica desarrollando en sucesivos esquemas la de las lluvias más probables, máximas y mínimas, con indicación de los años y sus frecuencias; todo ello en términos absolutos y en relación con las medias locales, a lo que podría añadirse una representación de las discrepancias, que ofrecería indicaciones interesantes para el estudio de obras regularizadoras situadas a gran distancia de la zona de su aprovechamiento.

Ahora bien, en todo lo anterior nos hemos referido a la lluvia media anual, pero la misma lluvia puede llegar a caer en el transcurso del año de muy distintos modos, variando la parte correspondiente a cada mes con la localidad y el año. Se comprende fácilmente la enorme influencia de estas variaciones. A igualdad de lluvia anual, el agua caída puede ser aprovechada si es oportuna, si se corresponde satisfactoriamente con las necesidades, gobernadas por otros rasgos decisivos de la temperie local, o ser perdida y aún causar perjuicios graves, si es inoportuna y cae fuera de ocasión. La oportunidad mayor o menor, y más o menos frecuente, puede motivar, y de hecho motiva, beneficios muy diferentes con precipitaciones igua-

(17) Pedro M. González Quijano, ob. cit., págs. 33 y 34. Anejo núm. 5.

(8) Ob. cit., pág. 32.

(19) M. Lorenzo Pardo: «Bases para la formación de un Plan Nacional de Obras Hidráulicas». Asociación para el Progreso de las Ciencias. Congreso de Lisboa, 1933.

(20) M. Lorenzo Pardo: «Régimen de funcionamiento del Pantano del Ebro». Nota. Academia de Ciencias de Zaragoza, 1916; págs. 58 a 64.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

les sobre distintas zonas. Aun en las zonas de lluvia muy copiosa, la distribución temporal constituye factor importante; la evacuación será en ellas tanto más fácil cuanto más regular; tanto más difícil, costosa y amenazadora, cuanto más se acumule la lluvia en períodos breves.

Habrá, pues, que estudiar la distribución periódica o estacional de la lluvia, sus máximos y mínimos, frecuencias y probabilidades, sobre todo, de las cantidades que en cada comarca señala la conveniencia agrícola, que suele ser tanto más dominante cuanto más escasa la lluvia.

Con tales elementos de juicio, muchas realidades económicas y sociales recibirían inmediata y terminante explicación; entre ellas, la situación de los regadíos tradicionales de España, surgidos por imposición de la realidad con fuerza y razón de hecho geográfico natural. Servirían también para explicar su fácil difusión en algunas zonas, las dificultades para su implantación en otras y para definir, sobre base firme y con seguro rigor, la conveniencia de ampliar a nuevas zonas esas ventajas tan ciertas, pero, al mismo tiempo, tan difíciles y costosas.

El Centro de Estudios Hidrográficos había acopiado los elementos disponibles y se disponía a acometer este trabajo complementario de su mapa pluviométrico, en 1936, fecha de su suspensión —a iniciarlo mejor dicho—, a escala mucho más reducida y con distribución estacional. La aspiración debe ser, sin embargo, la de llegar a la distribución por meses, unidad mínima suficiente consentida por la latitud que permite la realidad agrícola, pero la representación definitiva y más expresiva resultará ser la que se refiera, no al mismo mes, uniformemente, sino al mes que las correspondientes temperies señalan como más propicio en las diversas zonas para los cultivos más generalizados y aconsejables.

La colaboración agronómica con que contaba el Centro garantizaba la posibilidad de tan sugestivo y prometedor estudio, cuyas provechosas aplicaciones inmediatas no requieren encarecimiento (21).

(21) La comparación de dos zonas de análoga precipitación pluviométrica anual media, revela diferencias considerables traducidas en rendimiento de sus correspondientes cultivos de secano. En una de ellas, la frecuencia de la cosecha normal es casi igual a la frecuencia de su pérdida en la otra. En esta zona el riego artificial crea la posibilidad económica, en aquélla se limita a asegurar con iguales gastos.

Entre los restantes mapas posibles, expresivos de otros tantos rasgos meteorológicos, muy útiles también, el Centro había fijado su atención en la evaporación y en la relación de la posible físicamente en cada lugar, con la lluvia correspondiente. El primer elemento había sido ya objeto de atención especial anterior (22), del segundo se hizo una representación que fué primeramente expuesta en Madrid (23) e inporada poco después al envío hecho al Congreso de las Ciencias del Suelo, en Oxford.

* * *

Hasta ahora hemos atendido en nuestro bosquejo de programa al hecho causante —la lluvia— y a las condiciones del suelo receptor —terreno, cauces—, pero para el de la marcha del agua, estos estudios básicos indispensables no son suficientes; la propia diversidad de sus medios, procedimientos y resultados, impone la observación directa, a la que muchas veces se ha limitado la cuestión, aunque equivocadamente.

La relativa modernidad de estas observaciones hidrológicas directas y su número escaso, obligan con frecuencia a deducir valores probables, correspondientes, unos, a tiempos pasados; otros, a lugares que carecen de instalaciones foronómicas. La correlación a que da lugar la observación anterior en el primer caso, o simultánea en el segundo, de las lluvias, permite remediar la insuficencia en términos satisfactorios.

Una razón más y poderosa, para no descuidar aquellas observaciones y estudios previos y auxiliares, cuya utilidad no se limita a la explicación, aun siendo tan interesante y provechosa, sino que puede convertirse, y de hecho se convierte muchas veces, en instrumento de previsión y base de cálculo, aun en países muy bien dotados de instalaciones de aforo. Lugeon dedica su obra citada, por lo menos, en gran parte, al estudio de esta clase de previsiones siguiendo métodos que la práctica ha confirmado y cuya aplicación exige análisis muy concienzudos de las observaciones primarias. Nosotros mismos nos vimos obligados a un artificio análogo, en la ya remota fecha en que establecimos el régimen probable de alimentación del Pantano del Ebro en Reinosa, fundándonos en un número es-

(22) J. Domingo Quílez: «Evaporación meteorológica. Nueva fórmula para su cálculo». Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro. Publicaciones monográficas. Núm. XXXV.

(23) Exposición gráfica documental del Plan Nacional de Obras Hidráulicas, en el Palacio de la Música. Madrid, 1934.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

caso de observaciones directas (24). También en este caso la observación posterior ha venido a confirmar plenamente las deducciones de aquel estudio y la conveniencia absoluta del régimen peculiar de aquel embalse (25).

Las observaciones de carácter foronómico destinadas a registrar el mecanismo de la circulación fluvial se refieren, naturalmente, a lugares aislados. Pueden estar organizadas para satisfacción de necesidades locales inmediatas o destinadas a estudios de carácter hidrográfico general desprovistos de aparente finalidad utilitaria, pero, aun contando con todas, y por grande que sea su número, es muy difícil, prácticamente imposible, que la situación de una antigua estación de aforos coincida con el lugar señalado para un nuevo aprovechamiento. Por otra parte, los datos aislados no ofrecerían idea más clara sobre el mecanismo de la circulación, que la que permitirían sobre el relieve del terreno unas cuantas cotas —por grande que fuera su número—, sin el auxilio de las curvas de nivel, que las clasifican y ordenan haciendo su número prácticamente infinito, ya que con su ayuda es inmediatamente conocida la cota aproximada de un punto cualquiera.

La relación de los caudales que pasan por cada estación de aforos, si no se traduce en gráficos de conjunto abarcables de una sola ojeada, expresa muy poco, sobre el régimen general. No sirve, por tanto, para la deducción de regímenes probables en secciones no aforadas directamente. Tampoco se presta a la deducción y estimación de causas y de influencias, tan interesantes en los estudios hidrográficos, sobre todo, cuando interviene o se impone la consideración del subsuelo.

Por ambas razones es indispensable el análisis de los datos de aforo ofrecidos por cada estación; la segunda exige, además, que el análisis conduzca a formas o expresiones dependientes de coeficientes de variación continua y representable, y que, a su vez, dependan —siquiera sea de modo empírico— de condiciones naturales propias y características de cada lugar.

(24) M. Lorenzo Pardo: «Régimen de funcionamiento del Pantano del Ebro». Nota. Academia de Ciencias de Zaragoza, 1916.

(25) M. Lorenzo Pardo: «Posibilidad y conveniencia económica de la construcción de hiperembalses».

Confederación Sindical Hidráulica del Ebro. Contribución a la Conferencia Mundial de la Energía, P. W. C. Sesión especial de Barcelona, 1929, tomo II; pág. 19.

Lo mismo para el estudio general de carácter y alcance geográfico, que para las aplicaciones prácticas que impone el progreso del país, el interés real de las observaciones se inicia con su análisis y adquiere su máximo valor cuando se comprueba la posibilidad de representar en un plano o mapa, de modo claro y expresivo, la variación continua de aquellos elementos característicos.

La cuestión es compleja, como corresponde al número y diversidad de las causas, pero quizá no tanto como pudiera parecer a primera vista, pues, entre esas diversas causas las hay dominantes, de procedencia remota y acentuado carácter de periodicidad, frente a las cuales las condiciones específicas o de localidad sólo ejercen influencia transformadora que el propio estudio general quizá ayude a descubrir. Algo semejante, en suma, a lo que ocurre en Astronomía, cuyas leyes han podido ser conocidas satisfactoriamente porque las masas de los planetas son insignificantes en relación con la del gran cuerpo central de nuestro sistema, pero que presentarían complicación inabordable a nuestra inteligencia, si estuviéramos sometidos a la influencia simultánea y comparable de varios.

Este estudio que tenía a la sazón marcado carácter de novedad que, en parte conserva, fué abordado por la primitiva Confederación del Ebro desde sus primeros pasos (1926). Al efecto, y como elemento previo y fundamental, se ideó una hoja o ficha general en la que se registraban, en cada estación y para cada año de observación directa, los elementos siguientes:

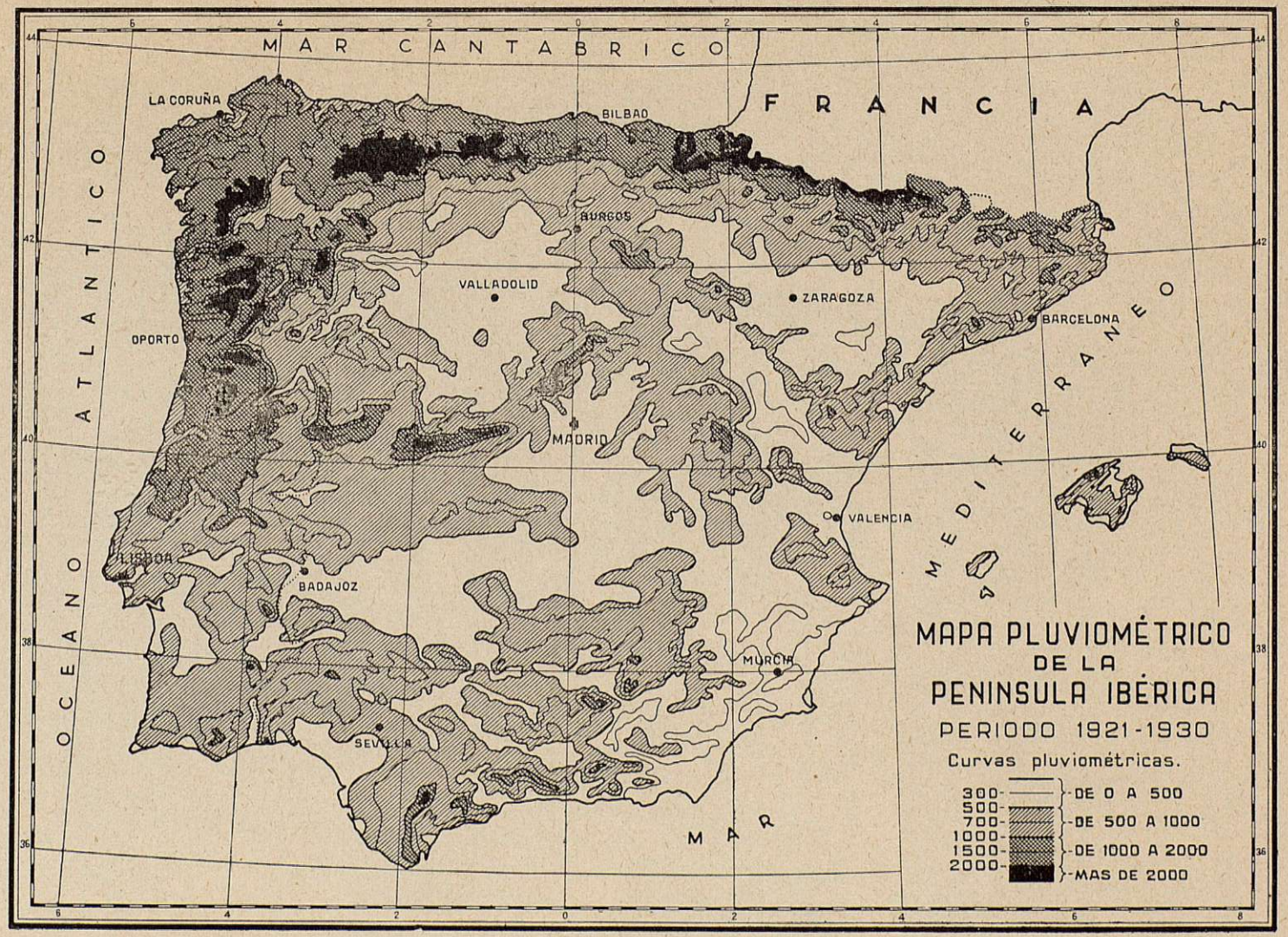
1.º Curva o línea poligonal —como más expresiva—, de los caudales medios diarios. En caso de observación continua o fluviográfica, cada ordenada de la curva anual era igual a la media del día deducida de la curva correspondiente por medio del planímetro — A A.

2.º Línea poligonal de los caudales medios mensuales — B B.

3.º Curva de los caudales medios diarios clasificados y ordenados según su valor absoluto con independencia de la fecha o fechas en que han discurrido por la sección de aforo — C C.

4.º Curva de caudales medios diarios o volúmenes diarios —lo que es equivalente, mediante el oportuno

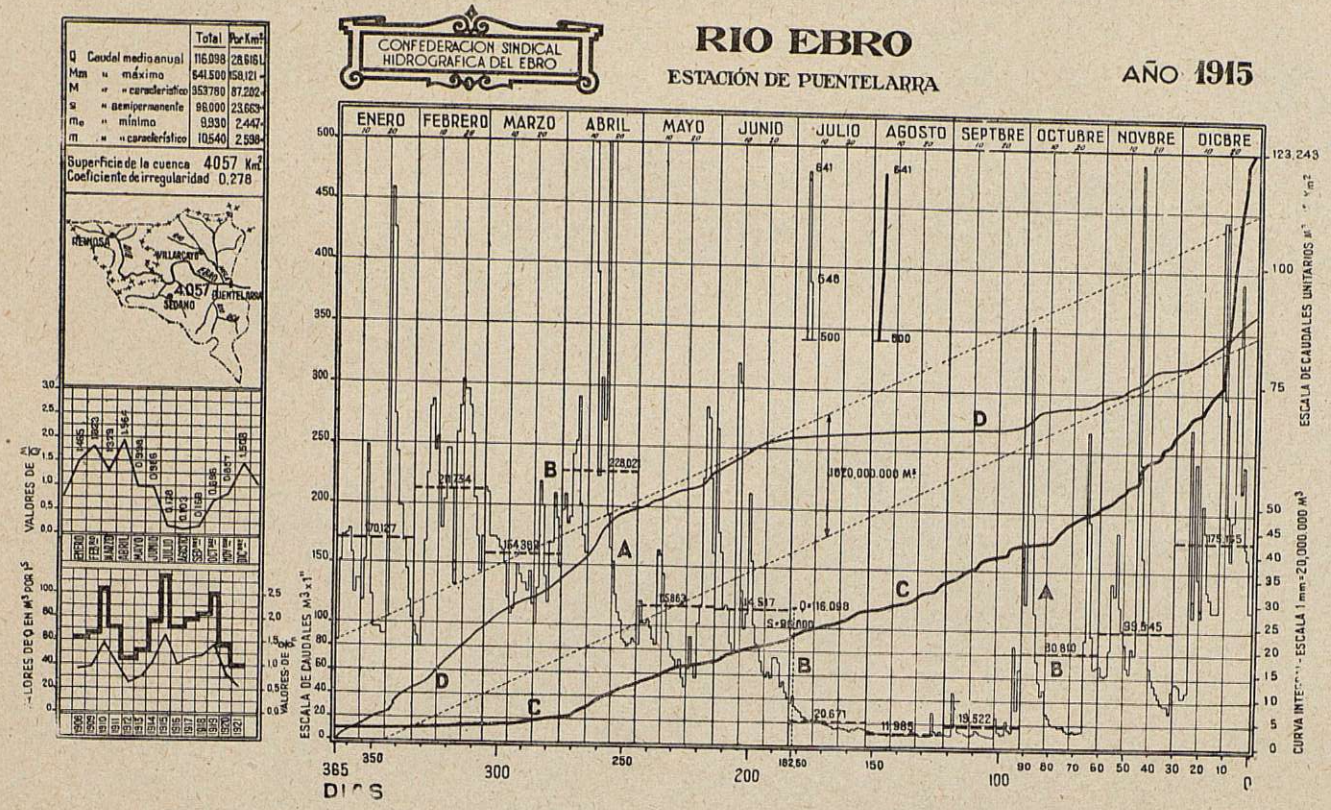
FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



NOTA IMPORTANTE.—Este mapa corresponde al trabajo núm. 292 titulado HIDROLOGÍA PENINSULAR, y se situará entre las páginas 366 y 367 del tomo V.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO



NOTA IMPORTANTE.—Este gráfico corresponde al trabajo núm. 292 titulado HIDROLOGÍA PENINSULAR y se situará entre las páginas 366 y 367 del tomo V.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

cambio de escala—, acumulados en el transcurso del año —D D—, curva que es integral a la primera, A A.

En el mismo gráfico y marginalmente, se consignaban y representaban los siguientes datos complementarios:

I. Un cuadro con los valores característicos correspondientes a la estación estudiada en el año del análisis.

II. Un croquis a escala de la cuenca vertiente con indicación en extensión, de sus redes hidrográficas, foronómica y pluviométrica.

III. Línea expresiva de la relación del caudal medio diario en cada mes, el medio general del año:

$$\frac{\mu_1}{Q} \text{ a } \frac{\mu_{12}}{Q}$$

En el propio cuadro marginal se proyectaba la representación de las relaciones de estos mismos valores al caudal medio en todo el período y a los medios del mismo mes durante igual tiempo.

IV. Un esquema definidor del carácter pluviométrico del año de que formaban parte.

a) Línea de variación del caudal medio anual a lo largo del período (previsto de veinte años) en cifras absolutas —metros cúbicos o litros por segundo—, y relativas—litros por kilómetro cuadrado de cuenca vertiente.

b) Relación del caudal medio de cada año al medio general y diferencias con este caudal medio.

c) Coeficientes de escorrentía media anual.

Los elementos deducidos del análisis y consignados en el cuadro marginal I eran los siguientes:

Q Caudal medio anual.

M Caudal máximo absoluto.

M Caudal máximo característico, rebasando tan sólo diez días del año.

S Caudal semipermanente, o sea, el que discurre, como mínimo durante medio año y no llega a ser alcanzado en el otro medio. La ordenada correspondiente es la mediana de la curva de caudales clasificados.

m Caudal mínimo característico, por bajo del cual sólo desciende el caudal medio diario durante diez días al año.

m_o Caudal mínimo absoluto.

Frente a cada cifra absoluta figuraba la relativa media por unidad superficial de cuenca vertiente, o sea, los caudales unitarios en litros por kilómetro cuadrado.

Sobre la curva integral o de volúmenes acumulados, figuraba el trazado dedicado a la deducción gráfica de la capacidad regularizadora, indispensable cada año para transformar el régimen natural variable en continuo de caudal constante (26), elemento característico del régimen que también puede referirse y que más tarde referiremos en trabajos de mayor extensión, a la superficie vertiente obteniendo la capacidad *regularizadora unitaria* en m^3. por Km^2.

El servicio hidrográfico de la Junta Autónoma de Hidráulica Agrícola de Portugal, adoptó desde sus comienzos análogo criterio e iguales designaciones y símbolos (27) por considerar que el formulario contiene cuantos elementos pueden requerir los sucesivos trabajos hidrológicos. En el Plan del Centro de Estudios se adoptó como base para los fundamentales, recogiendo los datos ofrecidos por el Servicio de Estadística Matemática de la Confederación del Ebro y generalizando el método a los demás ríos y estaciones que contaban con los datos mínimos indispensables para un cálculo abreviado en el que sólo se tomaban en cuenta, para cada una de las estaciones de aforo estudiadas, los años característicos siguientes:

1.º El de mayor caudal, o sea, el más abundante en aguas.

2.º El de mayor escasez.

3.º El de mayor irregularidad, entendiéndose por tal aquel en que hubiera sido preciso disponer de un volumen regularizador mayor para conseguir un caudal constante igual al medio correspondiente.

4.º El de mayor irregularidad igualmente apreciado (28).

El número de las estaciones analizadas por tal medio fué: de 17 en la cuenca del Ebro, 8 en la cuenca del Júcar, 10 en la del Segura, 3 en la vertiente S. de España, 11 en la cuenca del Guadalquivir, 13 en la

(26) M. Lorenzo Pardo: «Noticia breve del Plan de aprovechamiento integral de los recursos hidráulicos de la cuenca del Ebro». P. W. C. Barcelona, 1929, tomo I; pág. 228.

(27) Junta autónoma das obras de Hidrálica Agrícola. Ministerio de Obras Públicas y Comunicacões. Relatorio 1936 Volumen II, págs. 7 a 10.

(28) Centro de Estudios Hidrográficos. Plan Nacional de Obras Hidráulicas. Págs. 12 a 16.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

del Tajo, 5 en la del Duero y 4 en las vertientes septentrionales, o sea, entre todas, 58. De la cuenca del Ebro se aprovecharon, además, 65, que disponían de análisis completos. El número total de las estaciones analizadas con aproximación aceptable fué, en total, de 140; todas con referencia al decenio 1921-1930, que fué el período estudiado (29).

La División Hidráulica del Sur de España adoptó también estas normas, al menos, temporalmente, y publicó un notable resumen de los trabajos realizados durante el año 1934 (30). Por fin, en el propio Centro de Estudios Hidrográficos se continuaron los trabajos de análisis correspondientes a años sucesivos, posteriores al 1930, pero no han sido publicados. Las fechas de los análisis utlizables no coinciden, según se ve, en las zonas o entidades que han seguido las mismas normas. Nos complace mucho consignar que el territorio portugués y su Junta Autónoma de Hidráulica Agrícola se cuentan en tal caso.

Refiriéndonos a un mismo período, naturalmente, y a zonas simultáneamente estudiadas, la consideración de los elementos ofrecidos por el análisis, no sólo sirve para el conocimiento general hidrográfico, sino que puede servir para interesantísimas aplicaciones prácticas, de las cuales los trabajos citados en esta comunicación podrían servir de ejemplo (31).

Para ello, y como primer paso, se pensó en la asimilación de la curva de caudales clasificados deducida de la observación directa, a otra de expresión analítica sencilla, a lo que invita desde luego su armónica y regular traza, que recuerda la de algunas líneas geométricas de fórmula conocida. El resultado obtenido en los primeros trabajos del servicio de Estadística Matemática de la Confederación del Ebro fué, desde luego, alentador (32).

Ahora bien, la misma curva de caudales clasificados que se intenta traducir en fórmulas sencillas de extensa aplicación, podría ser obtenida de muy variados y distintos modos (33). La definición de un régimen probable para el curso del agua, siquiera sea aproximada, exige nuevos elementos de más difícil y laboriosa investigación, aunque, para ciertas aplicaciones podría bastar con algún coeficiente o índice variable con el lugar, si se trata de regímenes conocidos.

M. Coutagne, cuyos trabajos de investigación hidrológica, tan citados después y tan justamente celebrados, tuvimos muy en cuenta al organizar aquellos servicios, introduce ese nuevo elemento definidor n en la fórmula

$$\frac{y - m}{Q - m} = (n + 1)\left(\frac{X}{T}\right)^n \qquad (1)$$

que es la que propone como expresión analítica de las curvas de régimen o de caudales clasificados de mu-

(29) Centro de Estudios Hidrográficos. Estudio analítico de las principales estaciones de aforo. Págs. 121 a 266.

(30) Delegación de los Servicios Hidráulicos del Sur de España. Servicio de aforos. Observaciones meteorológicas y régimen de los principales ríos del Sur de España en el año 1934. Ingeniero Jefe don Ramón Otaño Berroeta. Exposición por el Ingeniero don Alfonso García Frías, Málaga, 1935.

(31) El Servicio de aforos de la Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, ha reanudado la publicación de los datos foronómicos restableciendo la continuidad en la medida de lo posible, aunque con sensible retraso, debido, principalmente, a dificultades materiales.

El último volumen recientemente publicado, que es el correspondiente al período 1942 (4.º trimestre) 1943 (1.º, 2.º y 3.er trimestres), ofrece considerable mejora sobre los anteriores. Aun cuando se ha prescindido de la representación completa de las curvas cronológicas de caudales y de frecuencia, caudales clasificados y su integral, se consignan los correspondientes datos numéricos, suficientes en algunos casos y, sobre todo, se han adoptado iguales valores característicos que fijó el Servicio correspondiente de la Confederación del Ebro y siguió el Centro de Estudios Hidrográficos y las mismas normas de deducción abreviada aprovechables en trabajos aproximados o previos.

La uniformidad de criterio y de nomenclaturas permite ya las representaciones generales y el trazado de esquemas estimativos de base cartográfica.

Las estaciones foronómicas afectas al Servicio Oficial eran en el período 1947-48 las siguientes:

CUENCA	*Número*
Pirineo Oriental	25
Ebro	98
Júcar	43
Segura	35
Sur de España	39
Guadalquivir	27
Guadiana	27
Tajo	24
Duero	66
Miño y Norte de España	22
Total	406

(32) M. Lorenzo Pardo: «Organización del Servicio de Estadística Matemática de la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro.» Págs. 1 a 8; F. Cebrián: «Interpretación matemática de las curvas de aforo.» Págs. 9 a 39. Publicaciones Monográficas, tomo XIII.

(33) El número de formas de curvas de caudales correlativos que pueden dar lugar a la misma curva de caudales clasificados es prácticamente inconcebible. Un sistema de numeración decimal tendría 779 cifras según el cálculo aproximado de Sterling.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

chas corrientes de la región alpina; fórmula en la que Q y m representan los caudales característicos ya indicados, T el plazo y n el llamado coeficiente de irregularidad, cuyo valor define en varias zonas objeto de su estudio.

Siguiendo análoga trayectoria, que equivale a substituir, a los efectos de la representación gráfica de su régimen, los ríos naturales por otros ficticios cuyos caudales característicos sean los mismos, la fórmula más adaptable a la realidad de nuestras corrientes es la siguiente, de forma más sencilla aún:

$$y = \frac{A}{B - x} + C \qquad (2)$$

cuyos coeficientes variables A, B y C se determinan por tres condiciones elegidas entre las siguientes: coincidencia del valor correspondiente de y con el mínimo característico ($y = m$, $m^3/1'' - x = 10$ días); el semipermanente ($y = S\ m^3/1'' - x = 182{,}5$ días) y con el máximo característico ($y = M\ m^3/1'' - x = 355$ días) o área total equivalente a 365 Q, esto es, que la ordenada media

$$y_m = \frac{1}{365} \int_0^{365} y dx$$

sea igual a Q, caudal modular o medio anual.

La coincidencia de las curvas teóricas deducidas por este medio, con las naturales, es verdaderamente sorprendente. Sus diferencias quedan, desde luego, comprendidas en el margen que impone la indeterminación instrumental, que es grande, aun empleando los medios más perfeccionados de aforo y los más precisos y seguros de registro.

Como coeficiente definidor, factor variable con el régimen, se consideraba la inclinación o coeficiente angular de la tangente a la curva en el punto que corresponde al caudal semipermanente, o sea, en la mediana que, en efecto, caracteriza a la curva. El valor de este coeficiente varía de modo regular y, por decirlo así, geógrafico, pero para ulteriores aplicaciones manejamos otro, derivado de la curva integral, de indudable realidad hidrográfica y que, por tanto, se presta a inmediatas interpretaciones de gran interés práctico, según vamos a ver.

La utilidad de tales investigaciones, la mayor, sin duda, consiste en la posibilidad de representar gráficamente la variación de los elementos característicos de estas curvas; posibilidad que quedó comprobada en extensas zonas de la cuenca del Ebro. Pudieron trazarse, en efecto, las *curvas isomodulares* o de caudal medio anual unitario constante (34) y las curvas *isoforonómicas máxima y mínima* o de igual caudal máximo y mínimo característicos (35).

En tales zonas, la deducción de las curvas probables de régimen correspondientes a tramos no aforados, era inmediata y contaba con elevadas garantías de aproximación.

Pero para que tal aplicación sea verdaderamente legítima, es necesario referirse a zona de análogo régimen, esto es, de una distribución semejante del paso anual del agua, lo que también se hizo (36). Con esta condición puede llegar a establecerse correspondencia entre los volúmenes estacionales y aún deducir volúmenes y caudales medios mensuales probables, en relación con las observaciones pluviométricas correspondientes.

La principal finalidad de estos trabajos, que son laboriosísimos y exigen documentación superir a la disponible, puede, sin embargo, conseguirse por el medio más sintético y expresivo, antes anunciado. Consiste en el estudio de la distribución geográfica de un elemento de notoria realidad hidrográfica; del volumen necesario para asegurar la constancia del caudal, lo que suele llamarse, pensando en la posibilidad de contar con él en un embalse, la *capacidad regularizadora* a régimen constante. También exige constancia en el tipo del caudal que discurre para que el valor correspondiente alcance la mayor significación posible, pero, con esta reserva, esto es, con la de que no basta para definir la forma en que se desarrolla el mecanismo del curso del agua, su repartición geográfica ofrece información utilísima y se presta a explicaciones y previsiones de gran interés (37).

(34) M. Lorenzo Pardo: «Noticia breve del Plan de aprovechamiento integral de los recursos hidráulicos de la cuenca del Ebro». P. W. C. Barcelona, 1929. Tomo I; pág. 220.

(35) F. Cebrián: «Red foronómica de la cuenca del Ebro». P. W. C. Barcelona, 1929. Tomo I; págs. 50 y 51.

(36) F. Cebrián: «Régimen actual de circulación fluvial en la cuenca del Ebro. Caudales extremos y su anuncio hidrográfico». P. W. C. Barcelona, 1929. Pág. 135.

(37) M. Lorenzo Pardo: «Plan Nacional dt Obras Hidráulicas». Tomo I; págs. 91 a 102; láminas 9 y 13.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El estudio hidrográfico, que desearíamos ver continuado y ampliado a la totalidad de la Península sobre la base de observación frecuente, metódica y esmerada de un hecho tan influyente sobre nuestra vida, no puede conformarse con estos elementos. Será forzoso tomar en consideración esa misma capacidad referida al volumen del agua que discurre o *capacidad relativa*, que aún ofrece más interés que la anterior; las oscilaciones de los caudales unitarios y de esas capacidades, sus frecuencias, las escorrentías; la marcha y emergencia de aguas subterráneas, restitución parcial a los cauces de las aguas utilizadas en los riegos..., etcétera. La observación simultánea de lluvias y caudales permitirá previsiones, trabajo iniciado también (38) así como las de carácter continuo en aparatos registradores, el estudio de propagación y servicio de anuncio que en la cuenca citada había llegado a funcionar.

Con todo ello, no se agotará ciertamente el tema, que aún tiene otros muchos aspectos y ofrece, por tanto, otras tantas perspectivas atrayentes, entre ellas, la de prestarse a síntesis y visiones de conjunto, orientadoras de las actividades creadoras del porvenir.

No hay que esperar tanto, sin embargo, para reconocer que estos estudios tienen interés propio y considerable; de filosófico fué calificado el que ofrecían los trabajos y conjeturas de M. Coutagne, por el Ingeniero italiano M. Fantoli Gaudencio.

«Bajo la apariencia de fenómenos completamente irregulares y caóticos, se oculta siempre un orden natural que probablemente tiene una expresión analítica y matemática.» «Desgraciadamente —añadía—, en materia de hidrología los conocimientos técnicos de las diversas naciones parecen estar contenidos en compartimentos estancos; se ignoran por completo o, por lo menos, no se conocen lo bastante.»

Lo primero parece exagerado; el hombre propende demasiado hacia la geometría, atribuye demasiada importancia al fruto de su ingenio, olvidando que sus artificios técnicos, por útiles que sean, sólo son andadores, andamiajes, simple instrumento para el mejor conocimiento de las cosas, que eternamente perseguirá. En lo segundo, en cambio, se contiene una gran verdad, aun cuando se refiera a épocas de comunicación fácil y de publicidad frondosa; podría, incluso, decirse, con razón, de las observaciones y estudios que se realizan en un mismo país, si falta el organismo o la persona que lo metodice, articule y aproveche.

La utilidad de la colaboración, grande siempre, adquiriría su máximo grado en el caso de nuestra Península y en la aplicación a nuestros ríos, algunos de los cuales son comunes a los dos países en que aquélla está dividida.

Aunque no mediaran otras razones y motivos para tales observaciones y estudios, ésta sería suficiente para aconsejar el restablecimiento de un organismo capacitado para recogerlas y analizarlas.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

El mejor aprovechamiento de las aguas disponibles exige previo conocimiento suficiente de su cuantía, distribución geográfica, régimen de marcha, pérdidas y recuperaciones... y de sus variaciones y frecuencias en el transcurso del tiempo.

Aun limitado el programa de este conocimiento a la previa labor informativa —estimativa y estadística—, se requiere el concurso de muchos y muy variados elementos que, en gran parte, ya existen, pero cuyas actividades podrían alcanzar en esta colaboración utilidad difícilmente superable. Otros, en cambio, faltan o resultan insuficientes por escasez de medios o carencia de organización.

No es indispensable, ni sería fácil, una enumeración completa de los servicios públicos y entidades diversas que pueden y debieran colaborar en la satisfacción de esta necesidad, ni siquiera lo es el recurso de los que en el texto de la nota son citados expresamente. Bastará, al objeto de este resumen, con algunas citas correspondientes a otros tantos organismos esenciales: en primer lugar, el Servicio de Aforos de la Dirección General de Obras Hidráulicas que colecciona los datos suministrados por los servicios regionales sobre caudales de nuestros principales ríos en los lugares más característicos, los registra y ha comen-

(38) J. Domingo Quílez: «Los estudios pluviométricos y la previsión de caudales fluviales.» Confederación del Ebro. P. W. C. Barcelona, 1929. Tomo I; pág. 169.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

zado a analizarlos para obtener valores típicos o definidores; los Institutos Geográfico y Geológico, sobre todo el primero, que desde hace algún tiempo viene colaborando en la formación y desarrollo de planes de aprovechamientos hidráulicos, de muy diversos modos, y, por fin, el Servicio Meteorológico Nacional, dependiente hoy del Ministerio del Aire.

La influencia ha sido mutua; en algunas ocasiones ciertos trabajos del Instituto Geográfico han sido orientados y aún decididos por las exigencias de su aplicación hidrográfica, con doble y superior provecho, pues ha permitido, entre otros beneficios: avance considerable en la formación del Mapa Topográfico Nacional, que es empeño fundamental del Instituto, representaciones más detalladas de zonas singulares y la adquisición de cotas ordenadas en perfiles de ríos y grandes obras de conducción. En cuanto a las ventajas recíprocas en la colaboración de los Servicios hidráulicos con el Meteorológico Nacional, bien notorio fué el impulso dado por la Confederación del Ebro a la red pluviométrica y a la multiplicación de Observatorios más completos, que se tradujo en una densidad sin precedentes, pero que con ella se perdió. En la red actual, que es de unas 2.900 estaciones en el territorio nacional peninsular, aún se observa la huella de aquellas colaboraciones que se amplió después a otras cuencas hidrográficas al ser creados y ponerse en marcha los organismos similares.

La circulación de las aguas a través de los materiales que forman el suelo o a lo largo de sus estratos permeables, impone otra clase de observaciones y registros, e igualmente, las modificaciones introducidas por la acción del hombre en el curso natural de los caudales líquidos circulantes. Entre estas acciones cabe distinguir las que ejerce sobre el medio, como verdadero agente geológico esencialmente constructivo y las debidas a imposiciones vitales de satisfacción inmediata en múltiples aspectos y modos, agronómico, forestal, sanitario, industrial, hidroeléctrico...

Serán necesarios, por consiguiente: de un lado, la adquisición, ordenación y presentación adecuada para su mejor uso de los datos de medición de los caudales instantáneos circulantes y de los volúmenes circulados en el transcurso del tiempo, y de todo ese complejo de elementos variadísimos cuyo conocimiento previo, simultáneo o inmediato es indispensable para adquirir, interpretar y aprovechar con acierto aquellos datos.

Pero los datos, aun analizados, no bastan para las aplicaciones más frecuentes. Por grande que sea el número de las estaciones de aforo y acertada la elección de los lugares más característicos, es muy poco probable, por no decir prácticamente imposible, la coincidencia de uno de ellos con el de aplicación, por lo que es forzoso acudir a estimaciones fundadas en correlaciones y paralelismos que exigen previos estudios y representaciones gráficas extensas.

Por tales medios pueden fundarse los planos y proyectos en corrientes irreales, de tipo estadístico y probabilidad predeterminada, de acuerdo con el destino de las aguas.

El texto de la nota se refiere a alguno de estos estudios iniciados hace algún tiempo e interrumpidos por suspensión y carencia del organismo adecuado, pero que, no obstante su carácter particular, casi personal y su brevedad, pudieron utilizarse como antecedente expresivo y servir de base a la formación de un plan metódico de aprovechamiento de los recursos hidráulicos de que dispone la Nación.

Algunos más se apuntan y muchos serán, sin duda, los que el propio trabajo aconsejaría al elevar el punto de vista. Así sucedió durante el breve período en que funcionó el Centro de Estudios Hidrográficos, que no se limitó a cumplir el servicio propio de su designación, sino que asumió el delicado cometido de formular un Plan Nacional de Obras Hidráulicas y de divulgarlo en demanda del conocimiento y la asistencia públicos, al mismo tiempo que acometía estudios que, por su complejidad y extensión, no contaban con órgano administrativo adecuado y, entre ellos, los fundamentales de las reformas legales y revisión reglamentaria que, en materia de aguas, aconsejan los cambios provocados por el de circunstancias en el transcurso del tiempo.

Análogos y aún superiores a aquellos cometidos, podrían ser los atribuídos al organismos que con aquel mismo título —que parecía adecuado al fin por la independencia que revela—, o con otro nuevo semejante, diera satisfacción a estas necesidades.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Podría servir además de embrión del *Instituto Hidrográfico*, mediante el cual el órgano administrativo competente, en su función hidronómica general, encontraría instrumento apropiado para establecer la relación de correspondencia y colaboración con otros centros similares de análoga designación, que aconseja la conveniencia nacional.

Madrid, mayo de 1950.

Al terminar de leer las Conclusiones, el Sr. Lorenzo Pardo manifiesta que hay un punto en ellas que requiere un poco de defensa. Es el que se relaciona con las amenazadoras palabras "nuevos organismos." Realmente, no hay necesidad de nuevo organismo, sino de dar distinta función al personal que ya actúa y que figura en las nóminas de los Presupuestos Generales del Estado.

El señor Presidente: Doy las gracias a D. Manuel Lorenzo Pardo por esta lección que hemos escuchado.

El Sr. Herrán dice: En defensa de lo que acaba de exponer el Sr. Lorenzo Pardo, y en defensa del criterio que expuse en los asuntos tratados ayer respecto al carácter de aprovechamiento de las aguas, deseo hacer una observación, y es la siguiente: En el trabajo del Sr. Lorenzo Pardo, y precisamente en sus conclusiones, se habla en primer lugar de la indivisibilidad de las aguas, y, en segundo lugar, de que el centro de estudio correspondiente debería ocuparse de la reforma legislativa necesaria, teniendo en cuenta las variaciones que las circunstancias aconsejan. Cuando se dictaron las disposiciones fundamentales de Aguas podría el mismo centro intervenir en la preparación de esas reformas. Por consiguiente, si después de la lectura del trabajo del Sr. Novo, que ha de hacerse, y de las de otros señores, la reunión llega a la conclusión de que lo propuesto por el Sr. Lorenzo Pardo es el camino lógico en esta cuestión, no tendré que presentar enmienda.

Terminado el debate sobre este asunto, se pasa a la lectura del siguiente trabajo, núm. 51:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.º 51. - Estudio de la cuenca hidráulica subterránea de Valencia

Autores: D. PEDRO DE NOVO Y FERNÁNDEZ CHICARRO
y D. FERNANDO BENITO Y JIMÉNEZ
Ingenieros de Minas

Gran número de años empleados en la investigación del agua subterránea, pero siempre en casos particulares y aislados, nos demostró la necesidad de emprender estudios integrales que constituyan verdadero cuerpo de doctrina.

En efecto, con los anteriores sólo se atendía al problema de procurar agua, cuando era factible, al pueblo o al particular que lo había solicitado, y las investigaciones venían a reducirse, poco más o menos, al término municipal o a territorios que afectasen también a uno o varios de los limítrofes o, más generalmente, y en condiciones aún más adversas para la compresión total de un problema, se trataba de determinar si era posible hacer algún alumbramiento con destino a una finca.

Esta serie de trabajos aislados ha tenido sólo la ventaja de ser en grandísimo número y, por tanto, de ir descubriendo las condiciones del terreno en grandes comarcas.

Como es natural, la inmensa mayoría de tales investigaciones fueron en aquellas regiones que reciben escasa lluvia y, muy especialmente, en las que el clima permite ricas y abundantes cosechas, cuando se trata de alumbramientos destinados a pequeños regadíos. En cambio, cuando lo que se desea es agua potable para abastecimiento de un poblado o de una gran finca, puede decirse que interesa a casi todo el territorio nacional, excepto, acaso, a la faja costera septentrional desde Guipúzcoa a Galicia. Pero, entre todas las regiones destaca con mucha diferencia, en lo que se refiere al problema de alumbramiento de aguas, la costa levantina, entendiendo con este nombre desde Rosas hasta las costas de Almería, y no en estrecha faja litoral, sino hasta las divisorias de las cordilleras Ibérica y Penibética, las cuales determinan la situación y dirección de las corrientes superficiales y que, además, al cortar los vientos húmedos que corresponden a los dos grandes largos del Noroeste y del Sudoeste, de donde procede la mayoría de las lluvias en la Península, motivan extrema sequedad de toda esa región del Este y del Sudeste de la misma.

Además, dicha región coincide con la que, con tanto acierto, ha denominado Hernández Pacheco «la España caliza», o sea, aquélla cuyos suelos están compuestos en grandísima proporción por rocas de esa clase, que muchas veces alternan con margas y que, tam-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bién, por componer grandes sierras, reúnen las máximas condiciones favorables para almacenar agua subterránea

El problema no es exactamente igual en todo ese extenso país, pues las lluvias son menos escasas desde el Golfo de Valencia hacia el Norte, hasta los de San Jorge y de Rosas, y, en cambio, las precipitaciones meteóricas escasean de modo extraordinario en el resto del litoral mencionado, o sea, desde el Cabo de San Antonio hasta el de Gata.

Todas estas consideraciones condujeron a los autores de este escrito a fijarse de modo especial en la provincia de Valencia, situada en la zona media de la general que se examina, con escasa lluvia, aunque no tanto como más al Sur y, sobre todo, con espléndida tradición agrícola que motiva que el agua se estime allí sobremanera.

Con este criterio procedimos a un estudio detallado de toda aquella provincia desde el punto de vista del agua subterránea; pero, al decir esto, conviene en seguida rectificar que, en este concepto, no puede hablarse rigurosamente de provincias, ya que, como es natural, sus límites no definen los de las cuencas subterráneas.

También existe disparidad notoria entre los límites de esas cuencas subterráneas y los de las superficiales; de modo que el primer punto que fué preciso examinar consistió, precisamente, en el deslinde entre las divisorias naturales topográficas, que determinan las cuencas hidráulicas superficiales, y los límites que nos da la Geología, y que permiten señalar, con mucha menor aproximación, los perímetros de las diversas cuencas parciales que integran el total de la que denominamos «cuenca hidráulica subterránea de Valencia». Por consiguiente, en nuestro estudio fuimos examinando los diversos factores que definen esa clase de cuencas y que son los meteóricos, los topográficos, los geológicos y los propiamente hidrográficos. Los expondremos ahora sucesivamente.

FACTORES METEOROLÓGICOS

En este estudio que ahora presentamos y que sólo tiene por objeto atraer la atención del Congreso hacia problema tan interesante para nuestro país, no procede señalar cifras que nos da la estadística, aunque tienen importancia decisiva o, mejor dicho, son el punto de partida y base insubstituíble de todo cálculo o razonamiento.

Estos, en lo que a la Meteorología se refiere, consisten siempre en apreciar la cantidad de agua atmosférica que ha recibido la tierra en la variada forma de los diversos meteoros, lo cual exige apretada red de estaciones meteorológicas, especialmente pluviométricas, si bien las hidrométricas y las anemométricas son también muy interesantes por lo que se refiere al cálculo de la probable evaporación. Por tanto, de este primer punto deducimos la primera de las conclusiones que sometemos al Congreso: la de *que se fije la atención en la importancia que ofrece en muchos aspectos de la Ingeniería y, de modo muy particular, para el que aquí examinamos, el que en la red de estaciones del Servicio Nacional Meteorológico* (que ahora ha alcanzado grandes desarrollo y perfección a causa de ser tan necesario para la creciente navegación aérea) *se incluyan estaciones donde lo soliciten las diversas ramas de la Ingeniería, con arreglo a las necesidades de cada una.*

De modo especial, y por lo que afecta al Servicio Oficial de Minas, proponemos que se establezcan estaciones meteorológicas en todas las minas y también en todos los balnearios, como dependientes de nuestra jurisdicción, al menos, y por lo pronto, en las comarcas donde el alumbramiento de agua es más urgente.

Por supuesto que toda esta red, aunque esté costeada en parte por Minas y señaladas las estaciones más precisas por el Instituto Geológico, debe entrar dentro de la oficial del Servicio Meteorológico Nacional y figurar en las publicaciones del mismo los datos recogidos.

ASPECTO TOPOGRÁFICO

En éste poco hay que decir, supuesto que, por un lado, se relaciona con cuanto afecta a las cuencas hidráulicas superficiales, y, por otro, está en muy íntima relación con el geológico, con la estructura del subsuelo, que examinamos poco más adelante.

Únicamente cabe notar en este aspecto cuántas observaciones corresponden al Servicio Forestal, a la repoblación del suelo y a la extinción de los barrancos como únicos medios de conseguir tres fines importan-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

tísimos: el primero, que afecta principalmente a la Agricultura y a la conservación de los embalses superficiales, consiste en evitar los enormes arrastres de tierras y aun de rocas que se producen en los territorios muy pendientes y desprovistos de vegetación forestal.

El segundo fin atañe a la evaporación, la cual, dentro de una pendiente dada del terreno, que es factor no modificable del mismo, sólo puede corregirse con la vegetación que sujete el agua infiltrada o, mejor dicho, que trueque pronto en infiltrada la parte torrencial de la de escorrentía, siempre dañina.

El tercer punto, invariablemente unido al anterior, consiste en el aumento de la infiltración en los terrenos permeables.

Por lo mismo que este asunto no depende de nuestra especialidad, insistimos en notar cómo, cuantos hemos pasado la vida en los montes, lamentamos la espantosa deforestación de nuestro suelo, y, por consiguiente, de ello deducimos como segunda *Conclusión* de este trabajo, el *que se intensifiquen las obras forestales de repoblación y de defensa en todos los terrenos muy abruptos, con el doble objeto de proteger contra entarquinamientos a los depósitos superficiales y favorecer la producción de mantos acuíferos subterráneos que luego puedan explotarse.*

ASPECTO HIDROLÓGICO

En éste tenemos que considerar dos fases diferentes, pero ambas indispensables para nuestro estudio.

La primera fase nos la da hecha el Servicio de Aforos de las Divisiones Hidráulicas de Obras Públicas, mediante el cual conocemos los caudales de los ríos en diversos puntos, y con ello obtenemos uno de los sumandos que hemos de tener en cuenta para el cálculo del agua que puedan contener los depósitos hidráulicos subterráneos de determinada comarca.

Pero en esto debemos insistir, como tercera *Conclusión* de este estudio, solicitando *que se aumenten las estaciones de aforo en nuestros ríos y, de modo especial y por lo pronto, en toda la región levantina.*

La otra fase nos afecta directamente, pues consiste en el aforo metódico y constante de los manantiales y alumbramientos.

Sólo llevando bien este servicio podrá determinarse un segundo sumando para el cálculo antes dicho (salvo tan sólo la incógnita del agua perdida submarinamente en la costa, y que nunca podrá ni valorarse con exactitud ni evitarse su pérdida en absoluto, si bien, sí, en buena parte, según intentamos demostrar en otro trabajo que presentamos a este mismo Congreso).

La observación y aforo de los manantiales tiene también relación muy íntima con los aforos de los ríos, ya que muchas veces los súbitos aumentos que en los ríos se notan, obedecen al agua manantía, y no precisamente subálvea.

De todo esto derivamos una cuarta *Conclusión*, cual es *la conveniencia de organizar el aforo metódico y permanente y, cuando sea posible, automático de los manantiales y alumbramientos.*

ASPECTO GEOLÓGICO

En el estudio de la hidrología subterránea es fundamental conocer la estructura geológica del subsuelo para deducir de ella el relieve de cada una de las formaciones ocultas bajo las más modernas.

Por lo que se refiere a la región valenciana, hay que consignar que el paleozoico, que forma parte importantísima de nuestra Meseta, es el substrato de la región que estudiamos y que, como constituído principalmente por pizarras, presenta gran compacidad, pero aunque es núcleo de antiguos levantamientos montañosos, en Levante aflora muy poco (por ejemplo, en la sierra Alta de Tremedal y en la sierra de Albarracín al Oeste de Teruel.)

Se apoya directamente en el paleozoico el tramo inferior de las areniscas del trías, con espesor de 400 a 600 metros, que constituye inmenso depósito de agua subterránea, ya que dicha roca tiene gran capacidad para el almacenamiento. Estos depósitos están saturados de agua bajo el nivel hidráulico subterráneo, porque los nutren copiosamente las infiltraciones de las areniscas, siempre que la pendiente del terreno no sea bastante para imprimir al agua circulación tan rápida que le impida embalsarse en la roca e infiltrarse lentamente por sus poros, y allí donde no afloran las areniscas, éstas reciben, no obstante, grandes cantidades de agua meteórica que recogen de las calizas del Muschelkalk, inmediatamente superpuestas.

Sin embargo, este gran almacén subterráneo de las

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

de Alcoy (7,8-G,H). y alimentan copiosas fuentes en el valle del Albaida: la de este nombre, las de Onteniente (significativo éste *Fonteniente*), Bellús, Simat de Valldigna y Gandía (7,8-F,G). A igual origen se deben profusos y difusos manaderos en la Canal de Navarrés y el manantial llamado Río de los Santos, en Alcudia de Crespíns, cerca de Játiva.

El método aquí descrito es aplicable al estudio de cualquier gran cuenca hidráulica subterránea y a los depósitos parciales que la compongan. Con la primera aplicación se atiende al problema regional, y con la segunda al de conocer las probabilidades de alumbrar aguas en determinado pueblo o finca.

Por consiguiente, en esta clase de estudios basamos una nueva conclusión del que aquí se presenta, y que consiste en destacar la *enorme importancia económica de que se emprenda el estudio integral de las cuencas hidráulicas subterráneas, empezando por las levantinas, que son las de mayor interés inmediato, pero sin desdeñar otras de carácter muy diferente, como las de Aragón, ambas Castillas, Extremadura y Andalucía.*

CONCLUSIONES

1.ª Conviene coordinar las observaciones del Servicio Nacional Meteorológico en la forma que lo solicite cada una de las diversas ramas de la Ingeniería, pues a todos interesan enormemente tales observaciones. Por lo que al ramo de Minas se refiere, deben instalarse estaciones meteorológicas completas en todas las minas y balnearios (los cuales dependen de nuestra jurisdicción). Toda esta red, aunque sea costeada por diversas ramas de la Administración, debe entrar en la oficial del Servicio Meteorológico y figurar los datos recogidos en las publicaciones de aquél.

2.ª Desde el punto de vista del aprovechamiento del agua subterránea debe solicitarse que se intensifiquen las obras forestales de repoblación y de defensa en los terrenos muy pendientes.

3.ª También para el estudio de las cuencas subterráneas interesa el aumento de estaciones de aforo en nuestros ríos, y de modo especial, por lo pronto, en toda la región levantina.

4.ª Es urgente que en el Instituto Geológico y Minero se organice el aforo metódico y permanente, y cuando sea posible, automático de los manantiales y alumbramientos.

5.ª Urge organizar el estudio integral de las cuencas hidráulicas subterráneas, empezando por las levantinas, que son las de mayor interés inmediato, y continuar luego con las de Aragón, ambas Castillas, Extremadura y Andalucía.

Madrid, marzo de 1950

Y terminada esta lectura se comienza la siguiente, núm. 291:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

EXPLICACIÓN

CUATERNARIO

MIOCENO

EOCENO

CRETÁCEO

JURÁSICO

TRIÁSICO

SILURIANO

Curvas de nivel del Trías (aflorantes u ocultas)

CALAMOCHA
MOLINA
Aguila
MONTALBÁN
Espina
Encanade
ALIAGA
MORELLA
CIFUENTES
BETETA
Palomera
Sª Alta
ALBARRACIN
Ares
Peñarroya
ALBOCACER
PRIEGO
TERUEL
Peñagolosa
BUENDIA
Altamira
HUETE
CUENCA
ADEMUZ
Jabalambre
CAÑETE
ALCALA de la Vega
Cuerda
ALPUENTE
Pina
CASTELLÓN
Espadán
S. LORENZO
Pelado
CHELVA
Rebalsadores
SAGUNTO
TORRUBIA
MIRA
LIRIA
Atalaya
UTIEL
Calleja
ALARCÓN
REQUENA
VALENCIA
Morlueño
BUÑOL
S. CLEMENTE
Marles
Besán
SUECA
LA RODA
Ceja
Asomadilla
COFRENTES
Molatón
Carocha
ALBACETE
AYORA
GANDÍA
JÁTIVA
Barreros
Mugrón
ENGUERA
ALMANSA
DENIA
ALBAIDA
ONTENIENTE
PEGO
Oliva
ALCARAZ
Roble
VILLENA
ALCOY
Altana
CALLOSA
YECLA
HELLÍN
VILLAJOYOSA

CANAL ALTO
CANAL DE DERIVACIÓN DE LAS AGUAS DEL TAJO AL JUCAR

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

N.º 291. - Proyecto de ciertas modificaciones en la Ley de Aguas actual

Autores: D. PEDRO DE NOVO Y FERNÁNDEZ CHICARRO
y D. FERNANDO BENITO Y JIMÉNEZ
Ingenieros de Minas

EXPOSICIÓN DE MOTIVOS

Pocos problemas encierran tan intenso interés económico-social como el del aprovechamiento del agua meteórica, cuya escasez en nuestro país, por condiciones climatológicas y topográficas, ha motivado contante preocupación, y, para algunas regiones, necesidad agobiante, ya que a la abundancia o pobreza de agua obedecen el bienestar o la miseria del regadío, y en muchos pueblos, la salud o enfermedad de quienes se ven obligados a beber agua de mala calidad, o lo que es mucho peor, contaminada por gérmenes patógenos.

Esta acuciante necesidad de agua exige el aprovechamiento máximo de la superficial y de la subterránea.

Si para el de la primera existe legislación aceptable (que sólo pide ligeras modificaciones), es muy diferente y anticuada la relativa a la investigación y aprovechamiento de la segunda, ya que la Ley de Aguas vigente, de 1879, dedica a las subterráneas muy pocos de sus artículos, sin duda porque en aquella fecha los legisladores no pudieron prever las aplicaciones de la ciencia geológica a la hidrología, y porque tampoco existían entonces los potentes medios de alumbramiento de agua o de desagüe de pozos que hoy permiten aprovechar, económicamente, aun aguas muy profundas, ni se había estudiado el valor de las cuencas subterráneas y su influencia en el caudal de las superficiales, del que aquéllas constituyen del cuarto al tercio.

Entre los variadísimos criterios seguidos en todo tiempo en lo referente al dominio de las aguas subterráneas al proponer el presente Proyecto para su administración, hemos adoptado como norma los principios jurídicos tradicionales en nuestro país; los mismos que inspiraron la vigente Ley de Aguas y el Código Civil, pero proponemos modificaciones que imponen, por una parte, los adelantos de la técnica, y por otra, el espíritu dominante en la actualidad, que subordina el bien privado al público. Este criterio se extiende lo mismo a atender la creciente necesidad de abastecer con agua potable a las poblaciones en buenas condiciones higiénicas y con suficiente cantidad que al riego preciso para el cultivo intenso del campo, en

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la proporción, siempre modesta, en extensión que corresponda a cada alumbramiento, pero multiplicada en enorme número de lugares que corresponden al gran número de aquéllos y que, bien aprovechados, darían la cifra que pocos imaginan y que antes citamos de un cuarto a un tercio de la superficial.

También afecta este Proyecto al beneficio de las aguas minero-medicinales y minero-industriales.

Todo lo dicho supone que el Estado debe estimular las iniciativas particulares para que se investiguen en el más alto grado el agua subterránea (lo que hasta ahora se realiza en escala muy reducida respecto de las posibilidades del país), y, a la vez, necesita intervenir en el aprovechamiento ordenándolo y regulándolo, a fin de que no sea ni incompleto ni tan codicioso que resulte agotador de los depósitos acuíferos subterráneos.

EXAMEN CRÍTICO DE ALGUNAS NORMAS JURÍDICAS VIGENTES

Normas generales.—Si el Estado dispone de las aguas subterráneas para conceder su aprovechamiento, es porque se considera dueño de las mismas, como «bienes de dominio público», destinados al fomento de la riqueza nacional. Por ello, pertenecen privativamente al Estado; por el mismo principio que sienta el artículo 339 del Código Civil, aludiendo a los criaderos minerales mientras no se otorgue su concesión como minas. El mismo criterio se halla en el Proyecto de Real Decreto-Ley de 2 de febrero de 1928, debida al Conde de Guadalhorce, la cual declaraba que «por constituir las aguas subterráneas una riqueza nacional, cuyo aprovechamiento es preciso efectuar con miras a los intereses generales de la Nación, deben ser consideradas de dominio público, como acontece en nuestro país con las substancias minerales en general».

En este Proyecto proponemos que se declare, de modo expreso, que «el agua subterránea pertenece privativamente al Estado, el cual *no concede su propiedad mientras no se demuestre que se trata de agua nueva, que no merma aprovechamientos preexistentes*».

Con esto se recaba la ordenación de la explotación en todos los casos, como garantía para los alumbramientos preexistentes y de conservación de los depósitos acuíferos subterráneos.

Con este criterio, son cuatro los fines principales que se persiguen con este proyecto: 1.°, máximo aprovechamiento, compatible con la conservación y nutrición perenne de los depósitos hidráulicos subterráneos, mediante ordenación de los alumbramientos que evite se exploten anárquicamente, como ocurre ahora con tan importante riqueza nacional; 2.°, máxima seguridad para las fuentes y alumbramientos preexistentes; 3.°, garantía para los usufructuarios y concesionarios, y 4.°, mejor conocimiento de la importancia y régimen de las aguas subterráneas y de la forma y dimensiones de cada una y del caudal que de ellas puede y debe extraerse.

Con los fines expresados, se proponen ciertos cambios en las actuales disposiciones legales; cambios que se justifican con las consideraciones siguientes:

AGUAS SUBTERRÁNEAS BAJO PREDIO DE DOMINO PRIVADO

El Artículo 18 de la Ley de 1879 concede al dueño de un predio la propiedad plena del agua subterránea que dentro de la finca hubiese obtenido por medio de pozos ordinarios, y el Artículo 19 lo autoriza a perforarlos libremente, aunque con ello resulten menguadas las aguas de los pozos vecinos, con tal de que se guarden las distancias de dos metros entre pozo y pozo dentro de las poblaciones, y de quince metros en el campo; distancias que han de observarse no sólo respecto de los pozos, sino también de estanques, fuentes y acequias.

Este derecho del terrateniente a aprovechar el agua subterránea bajo su predio, reconocido con grande amplitud en la antigua Ley de 1866, quedó muy restringido por la hoy vigente de 1879, con objeto de reducir a límites prudentes la cuantía de las mermas que prevé y que consiente en los pozos vecinos, y con esa mira no sólo suprimió en el Artículo 18 (que concede la propiedad de las mencionadas aguas) la frase de la Ley de 1866 «cualquiera que sea el aparato empleado para extraerlas», sino que en el artículo 20 introdujo una definición precisa de pozo ordinario que lo limita, en cuanto a aplicación de agua, a atender exclusivamente al uso doméstico o necesidades ordinarias de la vida, y, en cuanto al caudal, prohibiendo que en los aparatos para la extracción del agua se emplee otro

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

motor que el hombre. (En este proyecto, para ponerse dentro de la realidad presente, se admiten los motores mecánicos de hasta dos caballos de fuerza.)

La antedicha limitación impuesta a la extracción de agua bajo predio privado, indica el máximo que la Ley concede, taxativamente, al dueño del terreno; cantidad que queda vinculada a la propiedad territorial y que, naturalmente, es sólo parte de la total soterrada bajo dicho predio privado.

En cuanto a la que sale a la superficie del terreno (bien manando de pie o bien brotando hacia arriba), y a la que nace en iguales formas mediante alumbramiento que no comporte elevación mecánica, las concede la Ley vigente, por su Artículo 22, al *alumbrador* cuando dice que «será dueño de ellas a perpetuidad el que las hallare o hiciera surgir a la superficie del terreno por pozos artesianos, por socavones o galerías». Esto responde al principio jurídico general de conceder al descubridor la propiedad de las cosas ocultas que hallare, como premio a la iniciativa y al descubrimiento de la riqueza, y como pago por el desembolso que suponen tales iniciativa y trabajo. El Código, en su Artículo 418, consagra este concepto de *alumbrador*. Cierto que el Artículo 23 de la Ley da derecho preferente al dueño del terreno para ser alumbrador, pues que lo autoriza para alumbrar y aprovecharse plenamente de las aguas surgentes que procedan del subsuelo de su finca, siempre que las alumbre tan sólo por los dichos medios de pozos artesianos, socavones o galerías, y que guarde las distancias que dispone el Artículo 24 de que estén las obras a 40 metros, como mínimo, de edificaciones ajenas, carreteras, otros alumbramientos, fuentes, canales, acequias o abrevaderos públicos.

El Código Civil, promulgado en 1889, diez años después de la Ley de Aguas, de la cual recogió los principios jurídicos, amplió, en su Artículo 417, las facultades del dueño del terreno sobre las que la Ley concede al alumbrador, y estableció que «sólo el propietario de un predio u otra persona, con su licencia, puede investigar en él aguas subterráneas». Con este artículo, inspirado en el máximo respeto a la propiedad territorial, se da, en rigor, al terrateniente no sólo la opción o primacía, muy lógica, que ya le concedía la Ley, sino la exclusiva de alumbrar en su predio agua subterránea surgente y, con ello, se le concede también el tácito derecho de veto para que no las alumbre otro investigador cuando se trata de propietarios inertes e irreductibles que se niegan a realizar las obras, y, a la vez, a permitir que otros las ejecuten, lo cual puede redundar en perjuicio de la economía pública.

De modo que, no solamente se da la anomalía de que ni la Ley ni el Código den normas para que un alumbrador cualquiera investigue agua subterránea en un predio privado, sino que el Código, en su citado Artículo 417, descarta la posibilidad de que pueda hacerse.

Este derecho de veto es tan excesivo que, hasta la promulgación de la nueva Ley de Minas de 1944, lo soslayaban los alumbradores acogiéndose a la Ley de Minas anterior, la cual otorgaba concesiones mineras sin necesidad de demostrar la existencia del mineral, y, con ello, daba derecho a ejecutar labores mineras en predio ajeno (por ejemplo, de alumbramiento de aguas, que pertenecen al minero), claro, que mediante la indemnización correspondiente. Con esa concesión minera, que suplía a las antiguas «Minas de agua» anuladas en la Ley de Bases de 1868, se conseguía investigar, indirectamente, las aguas subterráneas, lo que, por el provecho que suponía para los interesados generales, contaba con la tolerancia de la Administración, la cual comprendía que tal era el único medio de soslayar el defecto antes apuntado del Código Civil, cuyo Artículo 417 proponemos que se derogue en este Proyecto de Ley.

Procede también, para precisar los derechos de cada uno, modificar la definición de «aguas subterráneas de dominio privado», que da el Artículo 408 del Código Civil, el cual dice que «son aquéllas que se hallan en predio de dominio privado», ya que esta definición tiene el inconveniente de que parece decir que las aguas situadas bajo predio privado son, sin distingos, propiedad del dueño de dicho predio, cuando, de modo manifiesto, el Código y la Ley prescriben disposiciones que demuestran que no las consideran así más que en la pequeñísima parte alumbrable «con pozos ordinarios y sin otro motor que el hombre», pues, en cuanto a las aguas que para salir a la superficie requieren las labores mineras de pozo artesiano o socavón o galería, ya no se adscriben al propietario como tal, sino como alumbrador, en premio a su esfuerzo e iniciativa, aunque se autorice con preferen-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cia al propietario para que sea él el alumbrador. A ese posible error de interpretación conducen las defectuosas clasificación y definición antes señaladas, y, por eso, en este Proyecto se propone la denominación de «Aguas subterráneas bajo predio de dominio privado», sin presuponer su dominio propio, que puede ser diferente, según las circunstancias.

Además de precisar así definición y concepto, y, para evitar los citados inconvenientes de la legislación actual, proponemos en este Proyecto, apartándonos de la letra, y en este punto, acaso, también del espíritu de la vigente Ley de Aguas y del Código Civil, el que pueda concederse permiso a un tercero como alumbrador o investigador de agua subterránea en predio privado, siempre que el propietario se niegue a realizar las obras por su cuenta, con arreglo al derecho de propiedad y exclusiva que le concede la Ley de 1879, y que también reconoce la formulada por este Proyecto.

En cuanto a las aguas que sea preciso extraer con motor de fuerza superior a dos caballos, propone este Proyecto que se sujete siempre su alumbramiento a concesión administrativa, aunque se trate de las aguas que se hallan bajo predio de dominio privado. Esto tiene por objeto el que, al tramitar la concesión, se prevean los daños posibles.

Debe notarse también que, aunque en su Artículo 23, la Ley de Aguas da las antedichas libertades ilimitadas al propietario, sin intervención administrativa alguna, para alumbrar aguas en su predio, y, por tanto, sin intervenciones preventivas de que se cause daño a tercero, impone, en ese mismo Artículo 23, la condición de que no se distraigan o aparten de su corriente natural aguas privadas o públicas alumbradas y poseídas con derecho legítimo, y, para evitar que se consumen los dichos males, establece la correspondiente intervención preventiva, gubernativa. Más, por no haberse reglamentado esa intervención con normas para su ejercicio, ha degenerado en intervenciones nominales, más que efectivas, y que, cuando se ejercen, sirven a menudo de arma para las luchas políticas locales.

Este Proyecto, para suplir las citadas faltas, propone que se metan también a concesión administrativa las aguas que se hallan bajo predio privado, que no se pueden alumbrar con pozo ordinario; lo mismo las que salen de pie a la superficie mediante socavones, que las que brotan verticalmente en pozos artesianos, que las que precisa extraer con motor.

AGUAS SUBTERRÁNEAS BAJO PREDIO DE DOMINIO PÚBLICO

En lo que se refiere a las aguas subterráneas que se hallan bajo predio de dominio público, se cumple ya hoy con mayor eficacia la intervención preventiva, pues si la Ley y el Código conceden dichas aguas al alumbrador, también exigen, en todos los casos, la previa autorización administrativa, aun para los pozos ordinarios y las norias, los cuales se sujetan, por el Artículo 21 de la Ley del 79, a la autorización del ramo de la Administración Pública a cuyo cargo se hallen el régimen y policía del terreno público respectivo, y en cuanto al alumbramiento de agua por medio de socavones y de pozos ordinarios otorga la Administración las autorizaciones pertinentes, según el Artículo 23 de la repetida Ley y la Real Orden de 5 de junio de 1883, que dicta normas para la aplicación de aquel Artículo de la Ley.

La legislación actual reconoce, en todos los casos, al alumbrador la propiedad a perpetuidad de las aguas alumbradas *desde el mismo momento en que realiza el alumbramiento*, de modo que, cuando ese alumbramiento causa perjuicio a otro preexistente, se produce *conflicto entre propiedades*, el cual han de resolver los Tribunales de Justicia en interminables pleitos, casi nunca eficaces, aunque la autoridad judicial se apoye en toda clase de asesoramientos de los peritos de ambas partes, ya que las opiniones de los mismos están expuestas a error, y todavía se producen con mayor facilidad por la carencia de aforos de manantiales y alumbramientos y de datos respecto a la relación de unos y de otros con la pluviosidad.

Añádase que, cuando se reclama por un perjuicio de esta índole, suele ser con gran retraso respecto a la obra causante del daño, porque éste tarda casi siempre mucho tiempo en manifestarse y suele advertirse cuando ya el propietario del nuevo alumbramiento ha consolidado la propiedad que alcanzó, según la Ley, en *el mismo momento de realizar el alumbramiento*, y cuando ya ha creado riquezas, intereses y compromisos sobre el nuevo aprovechamiento contra el cual se

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

protesta. En suma, se reclama casi siempre cuando, por el mucho tiempo transcurrido, estiman todos improcedente y hasta abusiva la reclamación, por justa que sea. Todo ello motiva que se envenenen esos litigios más que otros, ya que el despojado del agua y reclamante tardío, por fuerza, tampoco se conforma con el despojo, de igual modo que quienes lo realizaron no admiten que se discuta su nuevo aprovechamiento.

De todo esto resulta que, o bien los litigios se fallan autorizando un despojo, o bien prescribiendo, por seguir literalmente la Ley, que se *reponga el agua en su primitivo punto de manantío*, aunque para hacerlo sea necesario cegar o paralizar el alumbramiento nuevo, y sin tener en cuenta si este último está situado más favorablemente para la explotación del depósito subterráneo y, en consecuencia, si podría aprovecharse con mejor rendimiento del que antes se obtenía y de modo que fuera posible indemnizar el aprovechamiento antiguo con parte del caudal del nuevo y que aún quedara libre gran cantidad de aguas nuevas, en beneficio de la economía nacional.

En consecuencia, se propone en este Proyecto que, cuando un alumbramiento nuevo que cause merma a los preexistentes, tenga más valor que aquéllos para la economía nacional, podrá hacerse la indemnización en metálico o en agua, y, en este último caso, no necesariamente en el propio lugar donde antes manaba, como exige la Ley actual.

Otro defecto de esa Ley del 79 que urge corregir para las aguas de dominio público, lo mismo que consignamos antes para las que se hallan bajo predio de dominio privado, es la omisión en que dicha Ley incurre al no tratar de las aguas que no salen naturalmente a la superficie, sino que necesitan ser extraídas con motor mecánico; omisión que, sin duda, se debe a que, en la época en que aquella Ley se promulgó, era muy rara, por antieconómica, la extracción del agua en esa forma, y, en cuanto al Código, aunque diez años posterior a la Ley, se limitó a sintetizar las prescripciones de aquélla.

Por esta razón, tanto los técnicos como la Administración en sus diversos grados, municipal, gubernativa y ministerial, han intervenido en previsión de perjuicios, aplicando, por extensión, el antedicho Artículo 23, redactado para las aguas surgentes, pero inadecuado cuando se trata de las que exigen alumbramiento mecánico.

Lo más grave es que, por esa misma circunstancia de no existir Artículo apropiado en la Ley actual, el Tribunal Supremo ha aplicado, también por extensión, el Artículo 23, inducido a error por la citada y repetida actuación administrativa, y ha dictado conjunto muy numeroso de sentencias, en lo que se refiere al agua distraída, con los mismos inconvenientes dichos, agravados por la autoridad que consigo llevan las sentencias del Supremo y por el hecho de que, en los alumbramientos sin extracción mecánica del agua, las mermas que causan aquéllos en los preexistentes no pasan de las que permiten las condiciones geológicas y topográficas que ligan a unos y otros alumbramientos, de modo que el perjuicio causado suele ser involuntario, mientras que las mermas producidas con los modernos sistemas de desagüe, con sus crecientes progresos mecánicos, y, aún más, con la facilidad que proporciona la corriente eléctrica, no tienen aquel límite natural, sino sólo el de la potencia de los motores, de modo que la influencia agotadora se extiende a grandes distancias, y así se producen frecuentes y graves conflictos entre los nuevos alumbramientos y los antiguos. Entonces, el empleo de motor más potente denota siempre propósito de causar daño, y, cuando se defiende en igual forma el perjudicado, se establece una lucha desleal entre motores, *con peligro de agotamiento subterráneo* y el consiguiente perjuicio para la economía nacional.

Proponemos, de modo expreso, la modificación de toda esa jurisprudencia que se basa en la errada interpretación del Artículo 23 de la Ley vigente; jurisprudencia que, no sólo crea tales conflictos, sino *que hace imposible resolverlos*, pues, por un lado, concede excesiva libertad para alumbrar aguas con motor, y, por otro lado, impone la restitución del agua distraída precisamente en agua y en el lugar del primer alumbramiento.

Es, pues, urgente la necesidad del nuevo Artículo que contiene este Proyecto y que se refiere a las aguas extraídas con motor; lo mismo a las situadas bajo predio privado que a las que se hallen bajo terreno de dominio público. Pero, adviértase, que ni en ese Artículo nuevo, que salva la omisión de la Ley, ni en ningún otro de los que proponemos, se establece nue-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

vo principio jurídico, ya que el Código Civil y la Ley de Aguas reconocen hoy, implícitamente, como queda dicho varias veces, la soberanía del Estado sobre las aguas subterráneas, aun sobre las situadas bajo predio de dominio privado.

Considerando ahora lo que se refiere a las distancias entre alumbramientos, para prevenir perjuicios mutuos, ha de tenerse en cuenta que no ya cuando se trata de extracción con poderosos motores que extienden su influencia a gran distancia, sino aun cuando se trate de simples galerías que den agua de pie, tan insuficiente y caprichosa como la cifra de cien metros que señala la Ley actual para distancia mínima entre alumbramientos, sería inadecuada cualquiera otra distancia mucho mayor y, asimismo, resultan caprichosos los perímetros de protección que fijaba la Ley de 1866, y, en suma, todas las disposiciones basadas en puro estudio hidrogeológico teórico y externo del terreno, siempre expuesto a equivocaciones por falta de datos o por error de apreciaciones, ya que el más docto y escrupuloso puede equivocarse. Ahora, cuando ya no domina aquel que pudiéramos llamar fetichismo científico del siglo pasado, es más eficaz, y así se propone en este Proyecto de Ley, el que, en vez de basar sólo en estudios teóricos las decisiones de concesión de alumbramientos y la apreciación de perjuicios, se basen, además, en la experimentación en forma segura y convincente, aun para el más profano, según determinan los Artículos de este Proyecto, y precisarían más los del Reglamento que un día lo complementasen. Tales Artículos prescriben que *antes de otorgar la concesión administrativa del agua,* y, luego, en las condiciones de concesión, se impongan las que aconsejen, conjuntamente, el estudio del terreno y los métodos experimentales adecuados.

Esta doctrina se basa, pues, en el principio de no conceder al alumbrador (como ahora se hace) en propiedad y a perpetuidad el agua hallada *desde el mismo momento del alumbramiento*, porque siéndolo así, caso de perjuicio a tercero, se produce el *conflicto entre propiedades* al que antes nos referimos y que precisa evitar. Con tal fin proponemos que, además de estipularse en la autorización para alumbrar agua la reserva de no causar daño a tercero, en el acto de la concesión *sólo se dé la propiedad de las aguas que experimentalmente se compruebe que son nuevas,* no tomadas a expensas de tercero, y luego de haber comprobado, también experimentalmente, durante amplio plazo, tal condición de *nuevas* de dichas aguas.

Al mismo tiempo, en este proyecto se sienta como principio la obligación y el derecho de compensar las aguas distraídas de otro alumbramiento mediante indemnización, no precisamente en agua, sino, a veces, en metálico, y, caso de ser en agua, no necesariamente en el lugar del primitivo aprovechamiento, como hoy se exige. Asimismo, se previene que en esos litigios la Dirección General de Agricultura dictaminará cuál de los aprovechamientos es el de mayor interés nacional.

PROTECCIÓN DE LOS DEPÓSITOS ACUÍFEROS SUBTERRÁNEOS

También se ha olvidado hasta ahora, en lo poco legislado acerca del agua subterránea, aspecto tan importante como la protección de los propios depósitos acuíferos subterráneos, no obstante ser su defensa, no sólo precisa, sino urgente, dada la potencia de los actuales medios de desagüe, la mayor facilidad para hacer sondeos en busca de agua artesiana, y el crecimiento de la población y de las necesidades agrícolas, industriales, urbanas y domésticas; todo lo cual motiva que vaya siendo posible el que, en plazo no lejano, la extracción supere a la alimentación en algunas comarcas; así ocurre hoy en la Huerta de Valencia, donde el enorme crecimiento del número de pozos provistos de motores potentes ha motivado que baje sin cesar el nivel de agua en el subsuelo, de modo tan alarmante, desde hace algunos años, que ya es peligro real el de que se agoten en plazo no muy remoto los mantos acuíferos de los que vive la Huerta. Más grave aún lo ocurrido en cierta zona de León, donde el excesivo número de sondeos en pequeño espacio motivó que bajara el nivel artesiano, que luego dejaran de brotar los pozos, faltos de presión, y, por último, que, desecado el nivel acuífero, se hundiera el techo y haya quedado aquél inutilizado para el porvenir.

El conocimiento de tales hechos y la seguridad de su intensificación en el futuro motivan que en este Proyecto se prevenga lo necesario para una verdadera *ordenación* en la explotación del agua subterránea, la cual consiste en vigilar los alumbramientos, limitar su número y capacidad cuando sea necesario cotejar el

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

caudal alumbrado anualmente con la lluvia caída en igual lapso y con las fluctuaciones de las fuentes y alumbramientos (unas y otros, catalogados) y con las variaciones de la lluvia durante períodos de años secos y lluviosos; en suma, cuando garantice la conservación de los depósitos acuíferos subterráneos, los cuales son inmensos, pero no inagotables, y, por eso, precisa medirlos y apreciar su capacidad y la producción económica de esa *cosecha anual de agua*, de modo que no dejen de aprovecharse en el máximo grado posible las masas de agua soterrada, ni se las agote por pasar del límite prudente de extracción.

PROTECCIÓN DE MANANTIALES COMUNES

Imprescindible e inaplazable es también legislar respecto de la protección de los manantiales destinados a abastecimiento de poblaciones, lo que, hasta ahora, se encuentran abandonados. Dispone este Proyecto de Ley que se los proteja en el doble aspecto de que no sea posible la contaminación de sus aguas y de que se vigilen para que no merme su caudal.

PROTECCIÓN DE MANANTIALES MINERO-MEDICINALES

No menor cuidado, sino mucho mayor todavía que los comunes, exigen los manantiales minero-medicinales, los cuales han de protegerse con perímetros adecuados y vigilarse para que no se contaminen, y, además, para que cualquier desconsiderado alumbramiento próximo no distraiga unas aguas cuya reposición muchas veces resulta imposible, así como el reemplazarlas en los usos terapéuticos, especiales para cada manantial.

Como es lógico, cuando se trata de aguas minero-medicinales debe tenerse muy en cuenta el parecer de la Dirección General de Sanidad.

JURISDICCIÓN

No quedaría tampoco completo este Proyecto de Ley si no determinara cuanto atañe a la jurisdicción administrativa respecto de las aguas subterráneas. Por eso, de acuerdo con la legislación actual, cuyos preceptos principales en la materia constan en la Ley de Aguas de 1879, en el Código Civil, en la Real Orden de 5 de junio de 1883 (referente a las autorizaciones para alumbramiento de agua en terreno de dominio público), en los Reales Decretos de 28 de junio de 1910 y 11 de julio del mismo año, en el de Policía Minera de 1934 (no derogado por la actual Ley de Minas, en lo que se refiere al agua subterránea) y en el de la Presidencia del Gobierno de 23 de octubre de 1941 (que delimita las funciones entre Obras Públicas e Industria y Comercio), y, por fin, en las disposiciones relativas al régimen de aguas subterráneas en Canarias, se propone ahora que correspondan a la Dirección General de Minas las autorizaciones para el alumbramiento de aguas, y, por medio del Instituto Geológico y Minero, el estudio de las condiciones que reúnan las cuencas hidráulicas subterráneas, el señalamiento de los puntos más adecuados para investigarlas, así como la tramitación para que el Estado conceda subvenciones destinadas a alumbramientos, cualquiera que sea el Centro oficial que inicie el expediente. Todo lo dicho tiene por objeto evitar que se empleen fondos del Estado en investigaciones aventuradas y, asimismo, que los particulares malgasten su dinero, no sólo en perjuicio propio, sino también con el consiguiente descrédito para las obras de alumbramiento de aguas; perjuicio este último, el mayor de todos.

El Cuerpo de Ingenieros de Minas tendrá la inspección y vigilancia de los trabajos de investigación y de alumbramiento de las aguas subterráneas, cualquiera que sean su naturaleza y sus aplicaciones, y a dicho Cuerpo corresponde también el examen y, en su caso, la aprobación de las instalaciones de elevación de agua.

De igual modo se asigna a la exclusiva competencia y jurisdicción de la Dirección General de Minas todo cuanto se refiere a catalogación, protección, aforos y conservación de los manantiales o aparatos de surgencia de las cuencas subterráneas, hasta la entrada de sus aguas en los cauces de conducción y también la jurisdicción sobre todos los alumbramientos de agua de cualquier clase y procedencia que sean, así como de sus instalaciones y servicios correspondientes.

Quedan únicamente excluídas de esta competencia las aguas subálveas, o sean, las que discurren bajo el álveo de las corrientes superficiales, por entre los aluviones de los ríos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Se establece la inscripción obligatoria de todos los manantiales y alumbramientos en los registros provinciales creados al efectos, en las Delegaciones de Hidrología subterránea del Instituto Geológico y en las Jefaturas de Minas, según los casos. Se determina también que en esas inscripciones figuren los aforos de caudal que declare el propietario o los determinados técnicamente, a petición de aquél, por las Delegaciones del Instituto Geológico o por las Jefaturas de Minas, para que sirvan de garantía a la propiedad del aprovechamiento de las aguas alumbradas.

Ahora bien, como al ramo de Obras Públicas corresponden, no sólo las aguas fluviales y sus embalses reguladores, sino las concesiones de aprovechamiento de las aguas superficiales, casi todas procedentes de manantiales, y, como no podrían garantizarlas si otro organismo independiente causase mermas en aquéllas, y como cualquier alumbramiento u obra de infiltración de las aguas torrenciales en las cabeceras de las cuencas afecta a las concesiones hechas por Obras Públicas y a la regulación fluvial, se encomienda en este Proyecto de Ley la intervención en las concesiones de aguas subterráneas a ambos Cuerpos de Ingenieros: a los de Minas, como autorizantes de alumbramientos, y a los de Obras Públicas, como defensores de los derechos creados por los aprovechamientos de aguas superficiales. Con esto, se siguen las mismas normas de la Real Orden de 5 de junio de 1883, pero disponiendo que se lleve la tramitación (por razón de la competencia del ramo de Minas en la materia) a la Dirección General de Minas, en el Ministerio de Industria y Comercio, por conducto del Instituto Geológico y Minero de España, y la concesión, al Ministerio de Obras Públicas, en su Dirección General de Obras Hidráulicas.

PROYECTO DE LEY DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

PARTE DISPOSITIVA

CAPÍTULO I.—DEFINICIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Artículo 1.° Son aguas subterráneas las situadas bajo el haz del suelo, excepto las subálveas, que discurren bajo el álveo de los ríos y arroyos, constituído de aluviones, y que se nutren de las corrientes superficiales y no de manantiales subfluviales procedentes de depósitos subterráneos en terrenos geológicos más antiguos que los aluviones modernos.

CAPÍTULO II.—CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS

Art. 2.° Se clasifican las aguas subterráneas, según cuya sea la propiedad de la superficie del terreno bajo el que se hallan, y también teniendo en cuenta sus aplicaciones.

Con arreglo a la propiedad de la superficie del terreno bajo el que se hallan las aguas subterráneas, se clasifican del siguiente modo:

Aguas subterráneas bajo predio de propiedad privada.

Aguas subterráneas bajo terrenos de dominio público.

En cuanto a sus aplicaciones, se clasifican así:

Aguas subterráneas comunes.—Las que no tienen bastantes substancias en disolución o en suspensión para que formen parte de cualquiera de las dos categorías siguientes, y que, por su pureza, se destinan a la bebida, riego y análogas aplicaciones.

Aguas minero-industriales.—Las subterráneas que contienen substancias en cantidad suficiente para ser objeto de aprovechamiento industrial.

Aguas subterráneas minero-medicinales.—Las que tienen aplicaciones terapéuticas.

CAPÍTULO III.—DE LA PROPIEDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Art. 3.° Se confirma por esta Ley, que las aguas subterráneas pertenecen al Estado, el cual puede alumbrarlas y aprovecharlas por sí mismo o cederlas a quien las solicite, con arreglo a las prescripciones de esta Ley.

Art. 4.° Asimismo se confirma la cesión tradicional del Estado al terrateniente de aquella parte de aguas subterráneas situadas bajo predio privado que encontrare el dueño del predio, por medio de pozos ordinarios, con la condición de no dedicarlas más que al uso doméstico y necesidades ordinarias de la vida y en la cantidad que pueda extraer sin emplear otro motor que el hombre.

Art. 5.° Todo propietario puede, en consecuencia, perforar libremente pozos ordinarios en su predio,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

aunque, con ello, resultasen amenguadas las aguas de sus vecinos. Debe, sin embargo, guardarse la distancia de dos metros dentro de las poblaciones, y de 15 metros en el campo, entre la nueva excavación y los pozos, estanques, fuentes, abrevaderos y acequias permanentes de los vecinos.

Art. 6.° El dueño de un predio podrá instalar en su pozo ingenios movidos por tracción animal o por motores mecánicos de potencia máxima de dos caballos, con tal de que no distraiga aguas de su corriente subterránea natural aprovechadas con anterioridad con derechos legítimamente adquiridos, y siempre que el pozo no esté a menor distancia de 40 metros de edificios ajenos, de un ferrocarril o carretera, ni a menor distancia de 100 metros de otro alumbramiento, manantial, fuente, río o canal, o acequia permanente o abrevadero público, sin el permiso por escrito de los dueños respectivos, ni dentro de la zona fortificada sin permiso de la autoridad militar.

Tampoco podrán instalarse dichos ingenios en pozos situados dentro de una concesión minera sin previa estipulación de resarcimiento de posibles daños. En el caso de que no hubiera avenencia, la Jefatura de Minas de la provincia fijará las condiciones de la indemnización, previo el informe de peritos nombrados por el dueño del pozo y por el concesionario de la mina.

Art. 7.° Concederá la autorización para instalar en los pozos los ingenios que previene el Artículo 6.°, la Autoridad administrativa a cuyo cargo se halle el régimen y policía del terreno donde aquéllos estén situados.

Art. 8.° Cuando los ingenios antedichos amenazaren peligro de que se distraigan o mermen las aguas públicas o privadas de aprovechamientos preexistentes, podrá suspender el Alcalde (de oficio a excitación del Ayuntamiento, o mediante denuncia de los interesados), la instalación o utilización de los ingenios montados en el pozo.

Las providencias del Alcalde causarán estado, si de ello no se reclama dentro del término legal ante el Gobernador de la provincia, quien dictará la resolución que proceda, con audiencia de los interesados y dictamen de la Jefatura de Minas del Distrito, previo reconocimiento del terreno.

CAPÍTULO IV.—DE LA INVESTIGACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Art. 9.° Es necesaria la autorización del Gobernador Civil de la provincia para la ejecución de obras de alumbramiento de aguas por medio de pozos artesianos o socavones y para la instalación en los pozos de motores mecánicos de potencia superior a dos caballos, tanto en terrenos de propiedad privada como en los de dominio público.

En terrenos de propiedad privada tendrá preferencia para obtener ese permiso, el dueño del terreno o un tercero con su autorización.

Estas autorizaciones no conceden derecho ni propiedad alguna sobre las aguas que se alumbraren hasta que éstas sean concedidas por el Gobierno, después de que el alumbrador demuestre ante la Administración, por medio de expedientes técnico-administrativos (como luego se prescribe), apoyados en medios experimentales de resultados concluyentes, que el caudal alumbrado es de *aguas nuevas*; es decir, no obtenido a expensas, en todo o en parte, de manantiales o alumbramientos preexistentes.

Art. 10. Las labores de que trata el Artículo anterior, no podrán ejecutarse a menor distancia de 100 metros de edificios ajenos, de un ferrocarril o carretera, ni a menor distancia de 250 metros de otro alumbramiento, manantial, fuente, canal o acequia permanente, ni dentro de las zonas fortificadas, sin permiso de la autoridad militar.

Los pozos artesianos no podrán perforarse en ningún caso dentro de una concesión minera; los socavones y pozos provistos de motores mecánicos de potencia superior a dos caballos sólo en los casos en que la Jefatura de Minas de la provincia dictamine que las obras proyectadas no pueden perturbar la regular explotación de la mina, y previa la estipulación de resarcimiento de posibles daños. En el caso de que no hubiere avenencia, la Jefatura mencionada fijará las condiciones de la indemnización que procediera, previo el informe de peritos nombrados por ambas partes.

Art. 11. En los predios de propiedad privada, se concederá permiso de investigación, mediante expediente administrativo, al que lo solicite, en el caso de que la Jefatura del Distrito Minero dictamine que considera las obras de interés general notorio, y de que

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

el propietario, después de invitado a realizar las obras, no lo hiciere en un plazo prudencial fijado por la Jefatura de Minas.

En este último caso la concesión de permiso de investigación obliga al concesionario a satisfacer al dueño del predio la indemnización oportuna por la ocupación de los terrenos necesarios para la ejecución de las obras y posibles daños causados por ellas a la finca.

Art. 12. Las Autoridades perseguirán y paralizarán como clandestinas las obras que, para alumbrar aguas subterráneas, se inicien sin la autorización que prescribe esta Ley, y harán a los ejecutores responsables de los daños que hubieren podido causar y se los sancionará por infracción de esta Ley.

Art. 13. Los interesados solicitarán de los Gobernadores la autorización que prescribe el Artículo 9.º de esta Ley, y a su instancia unirán Memoria en la que se describa la ubicación de los trabajo, su clase y extensión, zonas que alcanzarán y afectarán, términos por los que se extenderán y utilización que se quiera dar a las aguas. Incluirán también plano general del terreno dentro de un círculo de radio mínimo de un kilómetro, con centro en el alumbramiento y con su parcelación, en la que figuren pueblos, edificaciones, caminos, carreteras, ferrocarriles, minas, manantiales, alumbramientos de aguas, corrientes naturales y acequias permanentes, charcas y abrevaderos, con indicación aproximada de sus caudales. Se presentará, asimismo, plano de detalles de las obras, con su presupuesto aproximado.

Art. 14. El Gobierno Civil remitirá el expediente a la Jefatura de Minas, la cual completará los planos, incluyendo las minas que no figuren en ellos, y, cuando se trate de pozos artesianos, socavones o galerías, redactará el presupuesto y proyecto de taponamiento del alumbramiento que el ejecutor de las obras queda por esta Ley obligado a realizar, tan pronto como haya logrado el alumbramiento del agua.

El taponamiento se situará en el terreno impermeable con cuya perforación se encontró el agua, y en él se dispondrá un amplio tubo para la salida del agua, cerrado por una llave-válvula de seguridad provista de manómetro, que mida las presiones que pueda alcanzar el agua detrás del taponamiento.

El interesado acopiará a pie de obra, antes de empezarlas, todos los elementos y materiales necesarios para el taponamiento y constituirá en la Jefatura de Minas un depósito como fianza por el importe de las antedichas obras, para que la Jefatura efectúe el taponamiento a expensas del interesado, cuando éste no se anticipe a realizarlo por sí mismo, bajo la inspección de la mencionada Jefatura, la cual, en este caso, devolverá la fianza al interesado, una vez terminada la obra.

Art. 15. La Jefatura de Minas designará a un ingeniero para el estudio del expediente, el cual se remitirá luego a la Jefatura de Obras Públicas para que ésta designe a otro ingeniero, y, ambos unidos, procederán al reconocimiento del terreno, previa citación del interesado, y tomarán los datos necesarios para completar los planos con los aprovechamientos que no figuren en ellos y con las obras de alumbramiento en ejecución, autorizadas con anterioridad, y estudiarán la estructura del subsuelo de la localidad, para informar si existe posibilidad manifiesta de que las obras solicitadas puedan causar mermas a los manantiales y alumbramientos preexistentes. En tal caso, los ingenieros informarán en sentido negativo la autorización solicitada.

En los otros casos, informarán positivamente la concesión de la autorización.

Art. 16. La derogación o convalidación de la autoridad gubernativa corresponderá a la Presidencia del Gobierno, previo recurso de alzada de la parte interesada de la misma.

Art. 17. Durante la ejecución de las obras no se introducirá modificación alguna en el proyecto autorizado, pues para ello será necesaria nueva autorización. La Jefatura de Minas vigilará periódicamente las obras, por su iniciativa o a instancia de tercero, y, caso de que aquéllas se aparten de lo autorizado, propondrá al Gobernador las sanciones oportunas, que podrán alcanzar a la anulación de la autorización y a taponar a expensas del ejecutor la obra realizada.

CAPÍTULO V.—DEL PERÍODO EXPERIMENTAL DEL EXPEDIENTE. FIJACIÓN DE CAUDALES DE LOS MANANTIALES Y ALUMBRAMIENTOS PREEXISTENTES EN LA LOCALIDAD

Art. 18. Una vez conseguido el alumbramiento de aguas, y taponado, como antes se prescribe, o para-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

lizando el motor con el que se profundizó el pozo (cuando se trate de pozo con motor mecánico), se publicará el resultado en el *B. O.* de la provincia para conocimiento de todos los interesados en los manantiales y alumbramientos preexistentes que puedan temer perjuicios por el nuevo alumbramiento, quienes presentarán en la Jefatura de Obras Públicas las características y caudales de sus manantiales y los títulos que posean para su aprovechamiento, y en la Jefatura de Minas las características y caudales de los alumbramientos preexistentes y títulos de su aprovechamiento. Los ingenieros, uno por cada una de estas Jefaturas, comprobarán conjuntamente, a expensas del nuevo alumbrador, los caudales declarados y levantarán acta de los caudales reales que en aquellos días alcance cada aprovechamiento. Terminada esta comprobación, señalarán el comienzo del período de experimentación que previene el Artículo 9.º de esta Ley y se comunicará la fecha a todos los que hayan comparecido en el expediente.

Art. 19. Este período experimental comenzará abriendo totalmente, en presencia de todos los concurrentes, la llave de salida del agua del taponamiento del nuevo alumbramiento, y ambos ingenieros comisionados procederán a aforar periódicamente, cada 15 días, como mínimo, los caudales del alumbramiento nuevo y de todos los representados en el expediente, y, cuando se haya alcanzado un caudal de régimen constante en el nuevo alumbramiento (una vez pasado el período de vaciado rápido de las aguas a presión, almacenadas en el depósito subterráneo sangrado), prorrogarán ambos ingenieros, de común acuerdo, el período de observaciones lo necesario para que se manifiesten las posibles influencias tardías entre los alumbramientos.

CAPÍTULO VI.—DE LA CONCESIÓN DEL AGUA ALUMBRADA

Art. 20. Una vez terminado este primer período de experimentación (de vaciado del depósito subterráneo), cuando no se hubiere observado merma alguna en el aprovechamiento, informarán los ingenieros al Gobernador Civil acerca de la conveniencia de que proponga a la Presidencia del Gobierno la concesión del agua alumbrada, mediante disposición conjunta de los Ministerios de Obras Públicas e Industria y Comercio.

Las concesiones antes dichas que aguas subterráneas serán siempre con la reserva de no causar perjuicio a tercero, en previsión de los casos de posibles mermas que puedan manifestarse en períodos más largos que los empleados por los ingenieros actuarios en los períodos experimentales por ellos acordados.

En estos casos los Tribunales de Justicia resolverán, como proceda en Derecho, los *interdictos de recobrar* que entonces puedan presentarse y los pleitos ordinarios que se ocasionen.

Art. 21. Cuando en el antedicho período experimental se observen mermas en los manantiales y alumbramientos, redactarán un acta los ingenieros actuarios, con el concurso de todos los interesados, en la que consten las mermas definitivas y el caudal de *aguas nuevas* alumbradas.

Proporcionalmente a los números fijados en el acta anterior, se distribuirán en lo sucesivo las aguas totales del alumbramiento nuevo, tanto en las épocas de estiaje o sequía (en las que disminuye el caudal total), como en épocas de altos caudales.

Art. 22. Cuando el caudal alumbrado por las obras sea del mismo orden que la suma de las mermas, se taponará definitivamente la obra, bajo la dirección de la Jefatura de Minas, a expensas del ejecutor de las obras, y se considerará el alumbramiento infructuoso y sin derecho a reclamación de ninguna clase por parte del ejecutor de las obras fracasadas.

Cuando se trate de pozos con motor mecánico, se mandará desmontar la maquinaria utilizada durante el período experimental, y sólo podrá utilizarse aquél como pozo ordinario.

Art. 23. *Segundo período experimental.*—Cuando el caudal del nuevo alumbramiento sea mayor que la suma de las mermas que ocasionó, se iniciará seguidamente el segundo período experimental con las mismas formalidades que el anterior, cerrando la llave del taponamiento del nuevo alumbramiento para el llenado natural y reposición posible del depósito subterráneo sangrado por el alumbramiento nuevo. Este cierre se efectuará en varias etapas sucesivas, para reducir su caudal progresivamente, hasta que se repongan las mermas que se observaran en el primer período experimental.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Art. 24. Cuando la reducción del caudal que haya sido necesario imponer al nuevo alumbramiento para reponer todas y cada una de las mermas que ocasionó, sea del mismo orden que la suma de todas las mermas, el grado de cierre necesario para ello en el taponamiento se elevará a definitivo, con las garantías necesarias para que no pueda alterarlo el usuario. Acto seguido, los ingenieros informarán al señor Gobernador acerca de la procedencia de proponer a la Superioridad la concesión al nuevo alumbrador de las aguas así reguladas.

En los pozos con motor mecánico se autorizará solamente la potencia de motor reducido, con la cual se logró la reposición de las mermas.

Art. 25. Cuando sea mayor que la suma de las mermas la reducción del caudal que haya sido necesario imponer al nuevo alumbramiento, para reponer todas y cada una de las mermas que ocasionó, estudiará la Jefatura de Obras Públicas las posibilidades de reponerlas, conduciendo superficialmente los caudales de agua mermada, a cada perjudicado, bien a su propio aprovechamiento, bien a otro lugar por él elegido. Hará el proyecto y presupuesto de estas obras la Jefatura de Obras Públicas, y serán ejecutadas a expensas del nuevo alumbrador, que perderá todos sus derechos si no las realiza en los plazos fijados por la mencionada Jefatura. En este caso, como en los anteriores, taponará las obras definitivamente el nuevo alumbrador, bajo la dirección de la Jefatura de Minas.

Terminadas las obras de conducción, los ingenieros actuarios informarán al señor Gobernador acerca del caudal de agua que pueda proponerse a la Superioridad que se conceda al nuevo alumbrador, caudal que será el sobrante del total una vez repuestas las antedichas mermas por medio de las conducciones superficiales, que el mismo alumbrador queda obligado a conservar, así como es obligatorio la servidumbre del paso del agua que discurre por esas conducciones.

Art. 26. Cuando no sea posible la reposición de las mermas conduciéndolas superficialmente, el nuevo alumbrador propondrá a cada perjudicado la indemnización pecuniaria, y, de no llegarse a un acuerdo, la Jefatura de Minas informará si el depósito subterráneo sangrado por el nuevo alumbramiento está mejor aprovechado por éste que por los aprovechamientos mermados, o si, por el contrario, resulta el nuevo alumbramiento esquilmante para la buena regulación y explotación del depósito subterráneo. En este último caso, se taponarán definitivamente las obras bajo la vigilancia de la mencionada Jefatura, sin derecho a reclamación alguna por parte del ejecutor de las obras.

Art. 27. *Expropiación de las mermas.*—En caso de que el dictamen de la Jefatura de Minas fuera que la explotación del depósito subterráneo resulta más completa y conveniente por el nuevo alumbramiento, se pasará el expediente a la Jefatura Agronómica de la provincia para que, a expensas del alumbrador, dictamine si las aguas del nuevo alumbramiento son, por la situación de su surgencia y por su caudal, susceptibles de aprovechamiento más beneficioso para la Agricultura que el conjunto de las mermas. En caso negativo taponará las obras el ejecutor de las mismas, bajo la vigilancia de la Jefatura de Minas, como en los casos anteriores, pero en caso positivo, si la Jefatura Agronómica considera el nuevo alumbramiento más beneficioso, iniciará expediente de expropiación forzosa de los caudales mermados a favor del nuevo alumbrador o de un tercero que asuma sus derechos. En el caso de que el nuevo alumbrador no ejecute la expropiación en el plazo que señale la Jefatura Agronómica, se taponarán las obras, como en los casos anteriores, pero podrá efectuarse la expropiación, si se considera conveniente para el aprovechamiento total del caudal alumbrado, y previa la indemnización correspondiente al ejecutor del alumbramiento, a favor del Estado, Diputaciones, Ayuntamientos, Sindicatos, Comunidades o Corporaciones Agrícolas o de riego, y, en último caso, a favor de simples particulares que reúnan garantías suficientes para el buen aprovechamiento del agua, a juicio de la Jefatura Agronómica.

Terminada la expropiación de las mermas, se destaponarán las obras o se autorizará el funcionamiento del motor, cuando se trate de pozos, y el Gobernador propondrá la concesión de las aguas nuevas al que efectúe la expropiación.

Art. 28. Contra la resolución dictada en estos expedientes administrativos, tanto de autorización para realizar obras de alumbramiento, como para conceder las aguas nuevas alumbradas, no admitirán interdictos los Tribunales de Justicia, pero quedará a salvo y sin limitación el ejercicio ante dichos Tribunales de las

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

acciones que versen sobre la propiedad de las aguas, una vez concedidas, y por los procedimientos ordinarios.

Art. 29. Con objeto de ajustar a esta Ley los alumbramiento que lleven menos de 20 años de aprovechamiento sin protesta y que no tengan título de posesión, solicitarán la concesión de las aguas de la Presidencia del Gobierno, por conducto del Gobernador de la provincia, presentando Memoria descriptiva del alumbramiento, plano de la superficie y detalle de las obras y aforo de su caudal autorizado por la Jefatura del Distrito Minero.

Art. 30. Los alumbramientos de agua que lleven más de 20 años de tranquilo disfrute y no tengan títulos de posesión adquirirán ésta mediante expediente de posesión presentando ante el Juzgado correspondiente los mismos documentos enumerados en el párrafo anterior.

CAPÍTULO VII.—ORDENACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LOS DEPÓSITOS ACUÍFEROS SUBTERRÁNEOS

Art. 31. En las regiones donde descienda progresivamente el nivel hidráulico subterráneo, tras excesiva explotación, causada por mayor número de alumbramientos de aguas de los que consiente la alimentación natural periódica de la cuenta, el Estado, por sí o a petición de la mayoría de los usuarios de aguas subterráneas de la región, podrá fijar un límite a la extracción de agua, ordenándola y regulándola en beneficio de la economía nacional.

Art. 32. El Instituto Geológico y Minero de España, como resultado del estudio de conjunto de las cuencas hidráulicas subterráneas, que esta Ley le confía, y con la cooperación de la Jefatura de Minas del Distrito, podrá proponer la declaración de estar superexplotada una cuenca.

Art. 33. Cuando se trate de cuenca artesiana, donde los caudales y presiones decrecen progresivamente, la declaración de estar superexplotada corresponde al Gobernador de la provincia, previo informe de la Jefatura de Minas del Distrito, y no se concederán en la cuenca nuevas autorizaciones para la investigación de aguas subterráneas.

Art. 34. Ante la declaración oficial de hallarse superexplotada una cuenca artesiana, quedan obligados los explotadores a cerrar los tubos de sus sondeos con llaves-válvulas provistas de manómetros, bajo la dirección y vigilancia de la Jefatura de Minas del Distrito, y a no dejar correr libremente las aguas de sus pozos, sino estrictamente lo necesario para atender a los usos a que las venían destinando el dueño y los usuarios de aguas abajo.

Art. 35. La Jefatura de Minas clasificará en grupos distintos los sondeos de la cuenca artesiana, superexplotada, con arreglo a sus presiones, reveladores del nivel acuífero sangrado por cada grupo de pozos.

Art. 36. Si, a pesar de la limitación que impone el Artículo 35, continuaran las mermas de caudales y presiones en los alumbramientos, la Jefatura de Minas requerirá el concurso de la Agronómica, para que ésta aprecie los caudales medios anuales realmente aprovechados, y ambas Jefaturas y la de Obras Públicas nombrarán cada una un ingeniero, quienes propondrán un acuerdo a los interesados en cada grupo de sondeos para prorratear el caudal anual total que deba extraerse de cada nivel acuífero, a juicio de la Jefatura de Minas. En el anterior prorrateo se tendrán en cuenta los caudales aprovechados por cada sondeo, según estimación de la Jefatura Agronómica, pero también se tendrá en cuenta la antigüedad relativa de los alumbramientos y las mermas de caudales que hayan sufrido.

No entrarán en el prorrateo los manantiales que resulten beneficiados por la ordenación que disponen este Artículo y los anteriores.

Art. 37. Cuando se trate de una cuenca acuífera superexplotada por socavones, se procederá a su taponamiento y cierre en la forma prescrita en el Artículo 14, con objeto de determinar, como en el caso a que se refiere el Artículo 36, los caudales realmente aprovechables y el subsiguiente prorrateo del caudal anual que deba extraerse de la cuenca.

Art. 38. Cuando la cuenca esté superexplotada por pozos con motor superior a dos caballos, el ingeniero agrónomo de la Comisión Mixta que prevé, el Artículo 36, apreciará los caudales medios anuales realmente aprovechados por cada alumbramiento, y el ingeniero de Minas clasificará los pozos en grupos, según el nivel o niveles acuíferos de que cada pozo se nutre, y dictaminará el más conveniente nivel acuífero,

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

deprimido por los desagües de los pozos, que ha de mantenerse sin rebajarlo ni rebasarlo, el cual, en las zonas litorales, no será nunca inferior al nivel del mar, con el doble objeto de evitar posibles pérdidas de las aguas subterráneas continentales en el mar y el aflujo del agua marina a los niveles acuíferos continentales.

Art. 39. La Jefatura de Minas reunirá los datos testificales necesarios para deducir la progresión del descenso anual del nivel acuífero subterráneo en cada grupo de pozos, y, si tal descenso ha rebasado el límite inferior fijado en el dictamen que prescribe el Artículo 38, se limitará la extracción general del agua por debajo de la suma total de caudales apreciados por la Jefatura Agronómica.

Art. 40. La Comisión Mixta de Ingenieros propondrá a los interesados, como en los casos anteriores, que lleguen a un acuerdo para cada grupo de pozos, a fin de prorratear el caudal anual total que deba extraerse, a juicio de la Jefatura de Minas, teniendo en cuenta los caudales aprovechados por cada pozo, estimados por la Jefatura Agronómica, la antigüedad relativa de los alumbramientos y sus pérdidas relativas de caudales.

Art. 41. Los caudales de aguas ascendentes que se obtengan por medio de sondeos perforados en las calderas de los pozos, se excluirán del prorrateo antedicho, el cual sólo se refiere a los niveles acuíferos cortados por los pozos durante su perforación y que, por tanto, quedan por encima de sus calderas.

Art. 42. En los grupos de pozos provistos de sondeos con aguas ascendentes, en el caso de superexplotación del nivel acuífero ascendente, se prorratearán los caudales con sujeción a las prescripciones de los Artículos 34, 35, 36 y 37 relativos a sondeos artesianos.

CAPÍTULO VIII.—CONCESIÓN DE LAS AGUAS MINERO-MEDICINALES Y MINERO-INDUSTRIALES

Art. 43. El descubridor de las propiedades medicinales o industriales de un manatial o alumbramiento podrá solicitar su concesión de la Dirección General de Minas, con arreglo a la vigente Ley de Minas y Artículo 3.º de su Reglamento; la concesión seguirá los trámites que se expresan en el Artículo siguiente de esta Ley.

Art. 44. Si se trata de aguas minero-medicinales, será preciso que la Dirección General de Sanidad declare su condición medicinal, la necesidad de su aprovechamiento para dichos fines y la consiguiente de utilidad pública, para que sea posible la expropiación, con indemnización de los derechos que legítimamente hubieran adquirido los que las vinieran utilizando como aguas comunes. Una vez cumplidos estos trámites, corresponde hacer la concesión a la Dirección General de Minas y Combustibles.

Art. 45. Cuando se trate de aguas minero-industriales, la Dirección General de Minas declarará su condición industrial y la necesidad de su aprovechamiento como tal. Para declaración de utilidad pública de tal aprovechamiento será preciso que informe la Dirección General de Sanidad, cuando el aprovechamiento que las aguas tengan como comunes sea el abastecimiento de poblaciones, e informará el Ministerio de Agricultura cuando el aprovechamiento sea agrícola. Seguidamente se incoará el expediente de expropiación e indemnización de los derechos que legítimamente hubieran adquirido los que vinieran aprovechando aquellas aguas como comunes. Una vez cumplidos estos trámites, corresponde hacer la concesión, como en el caso anterior, a la Dirección General de Minas y Combustibles.

Art. 46. Si en las aguas se apreciaran ambas condiciones de medicinales e industriales, habrían de informar conjuntamente la Dirección General de Sanidad y el Ministerio de Agricultura, acerca del mejor aprovechamiento.

CAPÍTULO IX.—CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS MANANTIALES Y ALUMBRAMIENTOS DE AGUAS DEDICADOS AL ABSTECIMIENTO DE POBLACIONES

Art. 47. Los manantiales o alumbramientos cuyas aguas se utilicen, en todo o en parte, en el abastecimiento de poblaciones, se declaran por esta Ley de Utilidad Pública condición que adquirirá en cada caso mediante decreto dictado por el Gobernador de la provincia respectiva, a la vista de certificación del Ayuntamiento del pueblo que las utilice para su abasteci-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

miento, y certificación de la Delegación Provincial de Sanidad de reunir las aguas las condiciones necesarias de pureza, tanto en el aspecto químico como en el bacteriológico.

Art. 48. Para evitar contaminaciones, así como insuficientes o difíciles surgencias y mermas de estas aguas, se establece una zona de protección de los manantiales y alumbramientos de este género, que constará de dos perímetros, uno interno y otro externo, que se fijarán del modo siguiente:

El *perímetro interior* estará formado por un cuadrado de nueve hectáreas, cuyo centro será el del manantial o alumbramiento o el del conjunto de sus surgencias, cuando sean varias; sus lados se orientarán del modo que aconseje la Geología. Efectuará la demarcación y amojonamiento de este perímetro la Jefatura de Minas, en igual forma que las concesiones mineras. Dentro de este perímetro los Ayuntamientos podrán ejercer los derechos de expropiación forzosa al amparo de las condiciones de utilidad pública de las aguas, para defender la pureza e integridad del manantial, y estarán obligados a cercarlos y cerrarlos para evitar el acceso del ganado y también de las personas sin autorización especial para ello. Asimismo se impedirá que dentro de esta zona se construyan viviendas, aun de carácter provisional.

El *perímetro exterior* de la zona de protección será variable en cada caso, según la constitución del terreno, y, dentro de él, las aguas que en lo futuro emerjan a sean alumbradas (excepción hecha de las minero-medicinales) serán propiedad de los Ayuntamientos a cuyo favor se hayan establecido los perímetros de protección. En esta zona queda prohibido el establecimiento de dehesas, corrales y rediles fijos o temporales, campamentos y viviendas que no reúnan las condiciones higiénicas que fije la Delegación Provincial de Sanidad.

Aquellos manantiales y alumbramientos que, al publicarse esta Ley, se encuentren dentro de las zonas urbanizadas, se protegerán del modo que en cada caso consideren más eficaz la Dirección de Sanidad y la de Minas. En los que están fuera de zonas urbanizadas, se prescribirá lo pertinente para que dichas zonas, en su avance o ensanche, queden detenidas a suficiente distancia de la de protección de que tratamos, a juicio de los antedichos organismos.

El perímetro exterior de protección se determinará por expediente, previa solicitud del Ayuntamiento del pueblo que utiliza las aguas, dirigidas por conducto del Gobernador civil de la provincia a la Dirección General de Minas; ésta designará dos ingenieros, uno de ellos del Distrito correspondiente, y otro, del Instituto Geológico y Minero de España, quienes levantarán un plano detallado, a escala 1: 1.000, del terreno comprendido dentro del perímetro que, a su juicio, deba proponerse, y emitirán una Memoria justificativa de su propuesta. El importe de estos trabajos será de cuenta del solicitante.

El resumen del anterior informe y la extensión y límite de los terrenos comprendidos dentro del perímetro que se proponga, se publicarán en el *Boletín Oficial* de la provincia y se expondrán en los tablones de anuncios de los Ayuntamientos interesados, dando un plazo de 30 días para oír las reclamaciones de los que se consideren afectados por la existencia del perímetro.

Concluso el expediente, se remitirá al Ministro de la Gobernación, el cual, después de oír al Consejo Superior de Sanidad, otorgará o modificará el perímetro propuesto, sin ulterior recurso.

Art. 49. El Instituto Geológico y Minero proyectará en estos manantiales y alumbramientos de abastecimiento las obras precisas para recoger y derivar las aguas de escorrentía, y las de defensa contra sus arrastres, así como las destinadas al desentarquinamiento del manatial, de modo que se facilite la surgencia de sus aguas.

Art. 50. También establecerá el Instituto Geológico aparatos registradores de aforo de caudales, que puedan dar fe, caso de que peligrara la integridad del manantial.

Art. 51. Para la realización de las antedichas obras de defensa y limpia de los manantiales se concede a los Ayuntamientos, de modo especial y preferente, los auxilios pecuniarios del Estado que previene el Artículo 8.° del Real Decreto de 28 de junio de 1910, para los alumbramientos de agua subterránea.

Dichas obras se realizarán bajo la dirección y vigilancia de la Jefatura de Minas y de la Delegación del Instituto Geológico y Minero de España.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CAPÍTULO X.—ESTUDIO DE CONJUNTO DE LAS CUENCAS HIDRÁULICAS SUBTERRÁNEAS

Art. 52. Corresponde a la exclusiva competencia y jurisdicción del Cuerpo de Ingenieros de Minas todo cuanto se refiere a catalogación, protección y aprovechamiento de los manantiales naturales y alumbramientos de aguas subterráneas, de cualquier clase y procedencia que sean, así como de sus instalaciones subterráneas y de elevación del agua del subsuelo, pero se excluyen las aguas muertas y estancadas, las corrientes superficiales de los cauces públicos y las que discurran bajo el álveo de los ríos entre los aluviones de los mismos, si no tienen otra procedencia subterránea. En los casos de uso público para abastecimiento de poblaciones o servicios generales, aquella jurisdicción queda reducida, en lo que al aprovechamiento se refiere, a las instalaciones y servicios de alumbramiento y captación.

Art. 53. Todos los manantiales naturales y alumbramientos de agua, excepto los pozos ordinarios y los provistos con motor menor de dos caballos cuya agua se destina exclusivamente al uso doméstico, tanto los existentes como los que se vayan poniendo en explotación, en lo sucesivo deben inscribirse en un Registro Regional de manantiales y alumbramientos en la Jefatura de Minas del Distrito correspondiente, en el plazo de un año, después de la publicación de esta Ley, para los ya existentes, y, para los nuevos, en el plazo de tres meses a partir de la fecha del alumbramiento.

La *inscripción simple* consistirá en una declaración de los interesados, en la que conste la ubicación precisa del manantial o alumbramiento (término municipal y paraje), caudal, temperatura y análisis de las aguas, si lo hubiere, y su utilización y aprovechamiento; y para los alumbramientos, además de dichas características, se presentan croquis o planos y descripción de las labores subterráneas, así como de las instalaciones de elevación del agua.

La *inscripción legalizada* podrá obtenerse mediante solicitud a la Jefatura de Minas, para que ésta compruebe y pueda certificar los antedichos datos de la inscripción.

Art. 54. El Instituto Geológico y Minero completará su red pluviométrica de interés hidrogeológico, de acuerdo con la Red Nacional Pluviométrica.

Art. 55. El Instituto Geológico y Minero instalará estaciones permanentes de aforo de caudales en los manantiales de alumbramientos más importantes por caudal o situación, para deducir, por el aumento postpluvial de sus caudales, la extensión del área por donde se alimenta la cuenca hidráulica subterránea y, por la disminución de los caudales en la sequía, deducir la capacidad de los depósitos subterráneos.

Art. 56. Acopiados los datos antedichos, el Instituto Geológico y Minero clasificará y delimitará las cuencas hidráulicas subterráneas, determinará su alimentación periódica y su capacidad para el alumbramiento de agua.

CAPÍTULO XI.—APROVECHAMIENTO RACIONAL DE LOS DEPÓSITOS DE LAS CUENCAS HIDRÁULICAS SUBTERRÁNEAS

Art. 57. Corresponde al Cuerpo de Ingenieros de Minas el estudio de las condiciones que, para el alumbramiento de aguas subterráneas, reúnan las cuencas hidrológicas, y el señalamiento de los puntos más adecuados para investigarlas, por lo que, en todo los expedientes de subvenciones con fondos del Estado para esta clase de obras, cualquiera que sea el Centro oficial que inicie el expediente, debe informarlo al Ministerio de Industria y Comercio, por medio de la Dirección General de Minas y Combustibles.

Art. 58. El Instituto Geológico y Minero propondrá la investigación de aguas por el propio Estado en las cuencas hidráulicas subterráneas poco conocidas o poco investigadas por la iniciativa particular.

Art. 59. Redactará también el Instituto Geológico y Minero un plan de explotación y regulación de cada cuenca y un Plan Nacional de investigación y aprovechamiento de aguas subterráneas.

CAPÍTULO XII.—JURISDICCIÓN

Art. 60. Es competencia del Ministerio de Industria y Comercio, en su Dirección General de Minas y Combustibles, cuanto se refiere a las aguas subterráneas, y corresponde al Ministerio de Obras Públicas

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

la conducción de dichas aguas, después de su surgencia natural por los manantiales o después de haber sido alumbrada.

Art. 61. Quedan derogadas cuantas disposiciones se opongan en los preceptos contenidos en esta Ley, con excepción de la Ley de Minas de 1944.

Al término de la lectura el Sr. Presidente concede la palabra al Sr. Herrán, que dice que el trabajo del Sr. Novo es tan extraordinario que se permite rogar a la Presidencia que volviera a leerse el artículo del mismo. Es una cuestión de trascendencia enorme. El Sr. Sánchez Robles manifiesta que no debería entrarse en propuestas de modificación legislativa, que competen a otros Poderes.

El Sr. Novo: No intento con mi trabajo, ni remotamente, que el Congreso pueda hacer suyo el proyecto, mucho menos sin conocerlo a fondo, y únicamente quiero que se recoja la necesidad de estudiar ciertas modificaciones legales.

El Sr. Aguilar: He oído con mucha atención el trabajo del Sr. Novo, y voy a opinar en sentido diametralmente contrario. Probablemente habrá muchos partidarios de que debe ser el Estado el propietario de las aguas, o el que puede dispensar las concesiones correspondientes; pero en Canarias, a pesar de los infinitos casos que hay de recursos, no hay un solo partidario de que deje de ser propietario del agua el dueño del terreno. En cuanto a los pleitos, han desaparecido, y se ha perforado hoy toda montaña de Canarias de tal manera, que la iniciativa privada y la iniciativa de los dueños de los predios ha sido tal, que se ha encontrado gran cantidad de agua, la cual no se hubiera podido obtener con otro procedimiento.

El Sr. Novo: Precisamente basándome en lo que se hace en Canarias es donde me inspiré para mi estudio.

El Sr. Dorao: La Ley de Aguas es un monumento legislativo. Está muy bien estudiada y es muy peligroso modificarla. Se ve que, aunque cuando el trabajo del Sr. Novo está maravillosamente hecho, puede dar lugar a complicaciones. ¿Por qué no se propone se estudie el Reglamento, en el que se pueda buscar la manera de aplicar este espíritu de la Ley que el Sr. Novo no quiere modificar? La Ley no tiene Reglamento, a pesar de que la misma Ley habla de su necesidad. En lugar de hacer una cosa demoledora, como es modificar una Ley que está considerada como buena, que se dicte el Reglamento que pueda abarcar estas cuestiones.

El Sr. Presidente: El trabajo del Sr. Novo es tan importante que debe incorporarse a la Ponencia. La Mesa quería proponer que modificaciones tan importantes como las propuestas por los Sres. Lorenzo Pardo y Novo, pasen a la Ponencia final.

El Sr. Aracil: Se ha estado toda la tarde tratando del interés enorme del agua desde el punto de lluvia artificial, y del aprovechamiento superficial, etc., y estoy perplejo al ver que, teniendo la importancia que tiene la hidráulica, aparece aquí como un apéndice que se llama Explotación del Subsuelo y Aguas, y ruego que se lleve al Pleno nuestra contrariedad por ello.

El Sr. Almela dice que está de acuerdo en que las aguas ocuparan una Sección

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

independiente en el Congreso, pero que esta protesta hubiera sido más eficaz habiéndola expuesto oportunamente a la Junta de Gobierno que expresándola en este momento.

El Sr. Presidente propone como nuevo elemento para la Ponencia de conclusiones para el Pleno al Sr. Aracil, con lo que están conformes los reunidos.

El Sr. Secretario da cuenta de los trabajos que a continuación se exponen, con las enmiendas presentadas a los mismos.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

N.º 205. - La investigación de los yacimientos de bauxita en la zona subpirenaica

Autor: D. JOSÉ GARCÍA SIÑERIZ
Ingeniero de Minas

PRÓLOGO

Es muy difícil fijar con exactitud las cifras que reflejan el consumo de aluminio en el mercado interior de España. Si se tiene en cuenta las constantes peticiones formuladas al Consejo Ordenador de Minerales Especiales de Interés Militar (COMEIM), por las empresas que precisan esta materia prima en sus fabricaciones y que no pueden servirse por falta de disponibilidades, casi puede afirmarse que aquél puede absorber 10.000 toneladas anuales, y ello sin contar con que el ritmo del consumo aumentaría rápidamente si pudieran ser atendidas aquellas demandas.

La mencionada producción anual de 10.000 toneladas de aluminio parece haber sido aceptada por la industria española, que cuenta en el día de hoy o para un porvenir muy próximo, con las siguientes fábricas:

«Aluminio Español, S. A.», con capacidad de producción anual algo superior a 2.000 toneladas de aluminio, establecida en Sabiñánigo el año 1929.

«Empresa Nacional del Aluminio, S. A.», capaz para 5.000 toneladas anuales, cuyo montaje empezó en Valladolid el año 1941.

«Sociedad General Española del Aluminio», autorizada para instalar una fábrica que pueda producir 2.000 toneladas al año.

Y la fábrica para regenerar 2.000 toneladas anuales de chatarra de aluminio, construída en Avilés, que debe entrar en servicio el año 1951.

Hasta el año 1939 sólo se produjo aluminio metálico a partir de las bauxitas importadas de Francia, en la fábrica de Sabiñánigo, en cantidad que no excedió de 1.230 toneladas anuales, y no se importó cantidad alguna en estado de metal. A partir de esta fecha empezó a disminuir la importación de alúmina y fué preciso recurrir a la del metal. Entre el aluminio producido en Sabiñánigo con el mineral extranjero y el importado en estado metálico no se ha superado la cifra de 3.000 toneladas anuales, a todas luces exigua para cubrir las necesidades nacionales.

Para que los minerales de aluminio puedan emplearse en la fabricación del metal, desde el punto de vista económico, es preciso que su contenido de Al_2O_3 no sea inferior al 50 %. No hablaremos, por ahora, de su porcentaje de sílice, asunto importantísimo del que

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

nos ocuparemos detenidamente más adelante. De modo que la obtención de cada tonelada de metal precisa aproximadamente dos de óxido anhidro o cuatro de bauxita.

Si tratamos de independizarnos en lo porvenir de las importaciones del mineral extranjero, será preciso arrancar de las minas españolas por lo menos 40.000 toneladas anuales de bauxita que reúna las condiciones necesarias para su beneficio económico.

De la posibilidad de alcanzar la producción mencionada o, al menos, importante parte de la misma, y de su aptitud para ser transformada en óxido anhidro de alúmina, de la calidad necesaria para servir de materia prima en la fabricación del aluminio, nos ocuparemos en los siguientes párrafos, describiendo, primero, los distintos yacimientos de bauxita de Cataluña para formar juicio de la cantidad de mineral que contienen y, después, se estudiará su composición y características más importantes.

No queremos dejar de mencionar la importante colaboración en este trabajo del Ayudante Facultativo de Minas D. Juan B. Targhetta, quien ha efectuado varios de los recorridos geológicos necesarios para el estudio de los distintos afloramientos, así como la de los Ingenieros señores Almela Ríos, Castells y Comba, quienes han hecho importantes investigaciones relacionadas con el mismo problema.

I.—YACIMIENTOS MINERALES DE BAUXITA EN EL NE. DE ESPAÑA

Los yacimientos de bauxita del NE. de España se pueden reunir en tres grupos, que denominaremos Norte, Centro y Sur.

El del Norte comprende, además de las zonas de Santa Liña, Camarasa, Alós de Balaguer y Peramola, la región del río La Vansa, desde Aliñá a Tuxent, por Alsina, Osera y La Vansa.

El Central, en las provincias de Barcelona y Tarragona, comprende los términos de Mediona, La Llacuna y Santa María de Miralles, en la primera, y el de Ayguamurcia, en la segunda; y el Sur, en las provincias de Tarragona y Teruel, está situado en la región de los Puertos de Beceite. Por sus malas comunicaciones no presenta, de momento, interés industrial.

No especificaremos la presentación del criadero bauxítico en cada caso, al enumerar los distintos trabajos y minas que los comprenden, porque realmente no hay diferencia esencial de unos lugares a otros, como no sea en ligeros detalles de predominio mayor o menor, de contenido parcial de sus elementos constituyentes. Su estructura es casi siempre oolítica o pecosa en todos ellos; el tamaño de los granos suele estar comprendido en 1 y 10 mm., aunque excedan, de vez en cuando, de esta última dimensión. El cemento que los traba es compacto, de tinte rosado a menudo, blanquecino a veces, y más frecuentemente rojizo que da este color, más o menos intenso, al tono general al yacimiento.

Dentro de este modo de presentarse, tiene variaciones llegan a desaparecer los oolitos ferruginosos, quedando la pasta, siempre amorfa, más uniformada y compacta; pero la variedad más común es, como ya hemos dicho, moteada o pecosa y su colorido rojizo. Su fractura es neta y concóidea y la masa es de tal consistencia que, en ocasiones, al romperse, se seccionan los oolitos, o bien, dejan sus alvéolos vacíos o quedan incrustados en aquéllos de un modo perfecto.

GRUPO NORTE

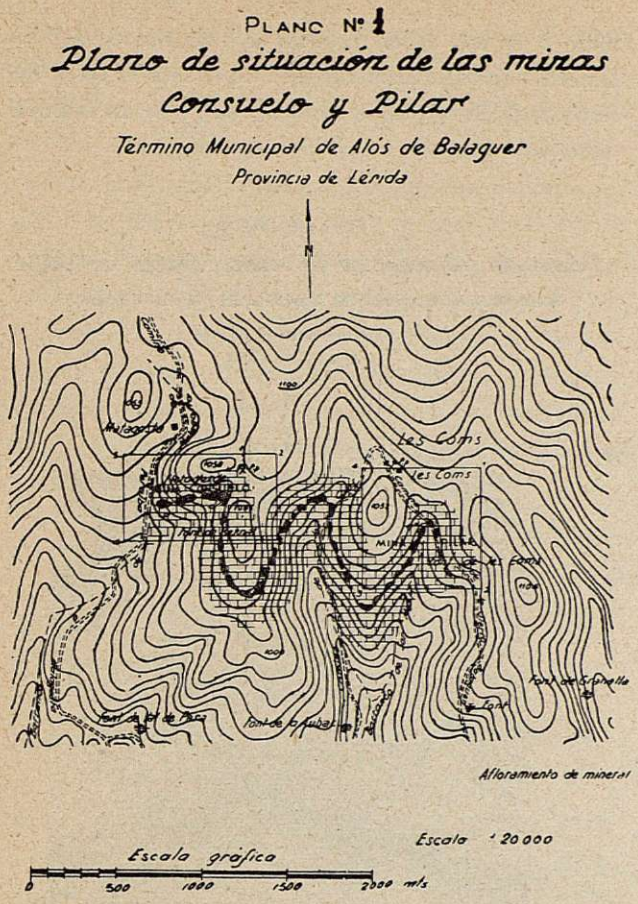
Zona de Santa Liña, Camarasa y Alós de Balaguer. El primer lugar observado en esta zona ha sido el del paraje de «Coll de Porta», en la sierra de Montroig, en los afloramientos del yacimiento bauxítico comprendido en la «Mina Elena» (véase el plano núm. 1).

Se cifran estos afloramientos en número de cuatro, separados entre sí alrededor de 300 mts. El más importante, en apariencia, por ser el más visible de todos ellos, es el núm. 3 que representamos en la fig. 1.

Tiene aproximadamente una extensión de 40 mts. en cuadro y su disposición estratigráfica la señalamos en la mencionada fig. 1, que representa la sección vertical transversal al criadero, con la proyección del cabezo denominado de Montroig, que se alza a su lado.

Como de dicho corte se infiere, la capa bauxítica aparece encajada y concordante con las de la misma formación; es decir, perfectamente interestratificada, descansando sobre un horizonte de caliza que le sirve de muro y cubierto por otro arenisca, más o menos coherente y de tinte variado, predominando el claro, que le sirve de techo. El resto de los afloramientos de este lugar corresponde: uno a Levante del referido y

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



relativamente próximo, el núm. 4, pero con la particularidad de que se halla hundido, con relación al observado, alrededor de 20 mts., debido a la interposición

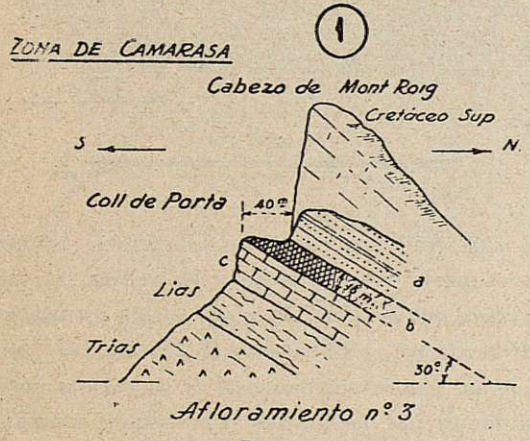


Fig. 1

de una falla local entre ambos; y los otros dos se encuentran en el sentido opuesto, pero no bien destacados y precisos, aunque denotan la prolongación del mismo yacimiento.

Ninguno de los cuatro tiene hechos trabajos de reconocimiento, se limita nuestra observación al examen ocular de los asomos. Su orientación es de Levante-Poniente; su buzamiento, como el de sus rocas de caja, hacia el Norte, y la inclinación con el horizonte de unos 300 grados. La potencia deducida con estos datos resulta aproximadamente de 16 mts.

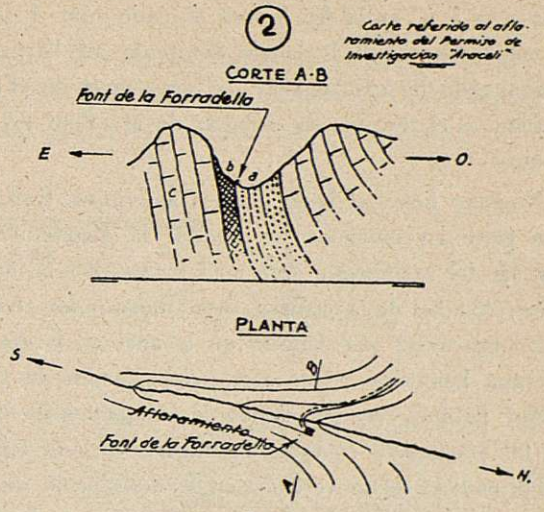


Fig. 2

Otro lugar observado en la misma formación es el del afloramiento comprendido por el permiso de investigación «Araceli» (véase la fig. 2), situado al Sur de Alós de Balaguer, en el paraje de «Font de la Forradella», a unos 500 mts. del pueblo. Tiene este asomo un desarrollo superficial de otros 500 mts., poco más o menos, en la dirección del barranco donde nace la

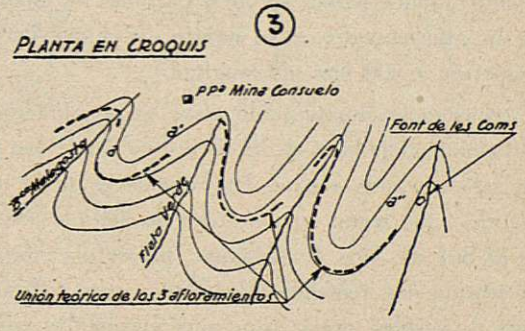


Fig. 3

fuente. Yace exactamente igual que el anterior; es decir, tiene por muro las calizas y por techo las areniscas, pero con diferencia de 90 grados en su orientación debida a la influencia de otra gran falla con hun-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

dimiento y giro coincidente con la dirección del río Segre. Tampoco se observan más trabajos de reconocimiento que algunas ligeras zonas superficiales que dejan al descubierto el mineral, pero no por completo y sin precisión en sus hastiales. La potencia aparente es de unos 10 a 12 mts.

Por último, dentro de la misma zona de Camarasa, hemos visto los afloramientos que señalamos con las letras a, a' y a" en la fig. 3 y en el plano núm. 1. Uno de ellos aparece en la ladera izquierda del barranco denominado de «Malagostá»; el otro en el de «Fleta Verde», y el tercero, en el lugar de la «Font de las Comes».

Ninguno tiene, al igual que los anteriores, trabajos que permitan reconocer y precisar la disposición y marcha del yacimiento, pero no falta en ellos la inmediata vecindad de las calizas, como muro, y las areniscas como techo que demuestran la análoga forma de la capa bauxítica y que son, puede decirse, la guía mejor para el reconocimiento de los puntos de paso de tal yacimiento en todos los lugares de esta región subpirenaica, según veremos en la descripción de los que hemos estudiado en las restantes zonas de la misma. La unión teórica de estos tres asomos parece confirmada por la marcha de las rocas encajantes y el colorido ferruginoso característico del criadero en las laderas en donde afloran, lo que nos hace suponer que los tres corresponden al mismo nivel estratigráfico en la disposición que señalamos en la citada fig. 3 y en el plano núm. 2. La aludida falta de calicatas y el derrubio de las laderas impide precisar la potencia del yacimiento, aunque parece ser de 8 a 10 mts.; y en cuanto a su afloramiento, en el paraje de «Fleta Verde», es superior a 300 mts. de longitud.

Circunstancia desfavorable para estos criaderos es la situación alejada y el difícil acceso desde los pueblos más cercanos a ellos. Unicamente el de la mina «Araceli», que según hemos dicho, se halla a 500 metros al Sur de Alós de Balaguer, presenta ventaja en este sentido con relación a los otros; pero todos disponen de perfiles topográficos muy apropiados para la explotación, posible, en buena parte, a cielo abierto, y, cuando más con socavón y arranque ascendente, además de ser a su vez adecuados para el establecimiento de cables aéreos automotores si algún día su explotación lo requiriese. La mina «Elena», plano número 2, en este orden de ideas se halla situada a 2 kilómetros aproximadamente de la que será estación del ferrocarril de Lérida a Saint Girons, con un desnivel natural de 400 mts. en cifras redondas.

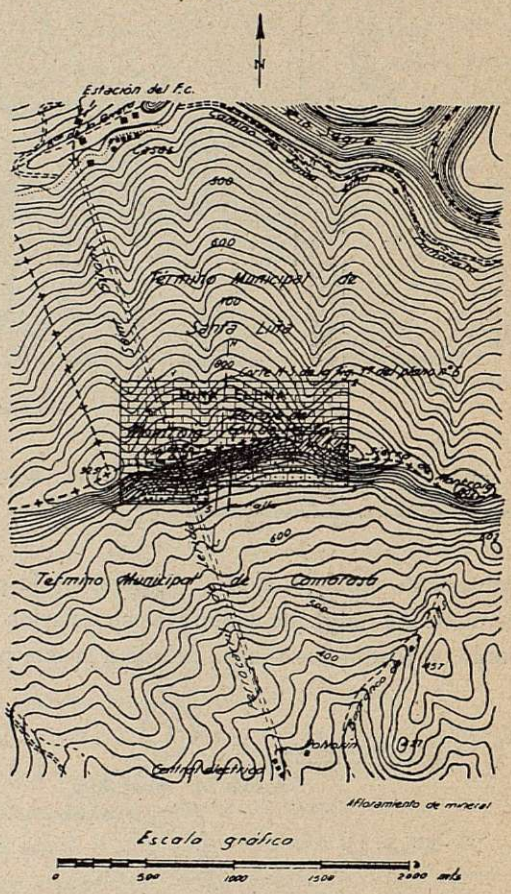
PLANO Nº 9.

Plano de situación de la mina "Elena" nº 3627

Términos Municipales de Santa Liña y Camarasa.

Provincia de Lérida

Escala 1:20000



La capa bauxítica comprendida entre el horizonte arenoso que le sirve de techo y las calizas sin fauna observable, que le sirven de muro, parece corresponder al Infracretáceo, posiblemente al Albense, ya que se trata de un tramo superpuesto al de las margas liásicas y recubierto por las calizas del cretáceo superior o Campaniense, con abundancia de Hippurites, descansa el conjunto sobre las margas yesosas del Trías, que constituyen el substratum inmediato de la región.

Zona de Peramola.—En esta zona los afloramientos son más notables en número y extensión. Por otra

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

parte, los reconocimientos y algunos trabajos hechos hasta el día en determinados lugares, dejan bien a las claras la potencia y demás particularidades del yacimiento.

Hemos comenzado por los del paraje denominado de «El Coscollé» correspondientes a la mina «Ampliación a Santa Bárbara», que consiste: uno de ellos, en una zanja empinada de 1,50 mts. de ancho por unos 30 metros de longitud que no reviste importancia, de momento, por no tener cortado aún el criadero. Las otras cuatro labores que señalamos en la fig. 4. lo tienen descubierto en casi toda su potencia. La que indicamos con

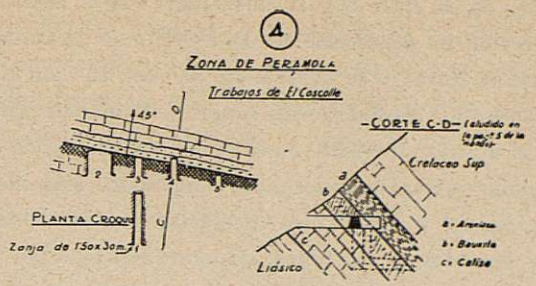


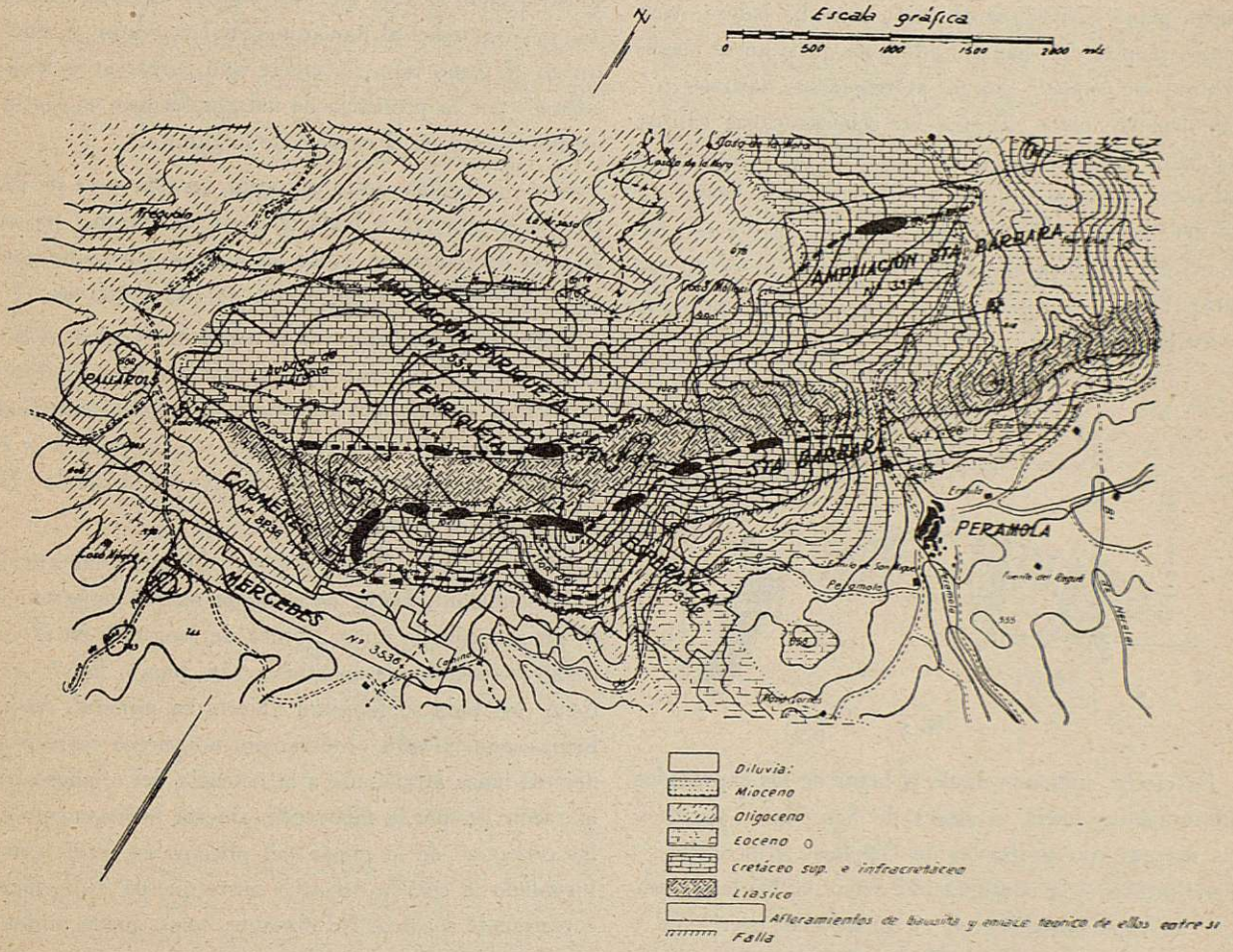
Fig. 4

miento, de otros 8 ó 10 mts. de longitud y, en su culata, hay abierto un pocillo vertical de 9 mts. de profundidad que corta el muro del mismo criadero. En el

PLANO Nº 3

Grupo Norte - Zona de Peramola.

- Escala 1: 2000 -



el núm. 4, penetra a través del filón, de muro a techo, con unos 10 mts. de mineral. Al final de este crucero existe una galería sobre la región del techo del yacifondo del pocillo una nueva traviesa corta nuevamente el techo.

La potencia del yacimiento acreditada con estas la-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

bores oscila entre 8 y 10 mts., poco más o menos. Su dirección es sensiblemente de E-NE.; su buzamiento, hacia el Norte, y su inclinación de unos 45° con el horizonte. Sus hastiales son, como en Camarasa, calizas en el muro y areniscas en el techo, compactas, de tinte azulado y vetas espáticas, las primeras, y amarillentas o grisáceas y rojizas, ora compactas, ora incoherentes, las segundas, y sin fauna aparente ambas, cuyo conjunto, con su yacimiento bauxítico, constituyen el mencionado horizonte infracretáceo que descansa, como en Camarasa, sobre el tramo liásico con abundantes Gripheas y lo recubre un potente espesor de calizas supracretáceas con profusión y bien destacados ejemplares de Hippurites.

En el paraje de Vellcuit, casi al filo de la línea común de la mina «Esperanza» con «Ampliación a Enriqueta, plano núm. 3, se observan a media ladera otros cuatro puntos, con bauxita aflorante, pero no se puede precisar su potencia por no presentar sus hastiales suficientemente netos. Existen las clásicas capas calizas sin fauna aparente hacia el Norte, fig. 5, y las arenas del techo hacia el Sur; es decir, en opuesto sentido a los del flanco de «El Coscollé», y como entre ambos se desarrolla, también aflorante, una faja de marcado carácter liásico, interpretamos el conjunto según se indica en la fig. 5.

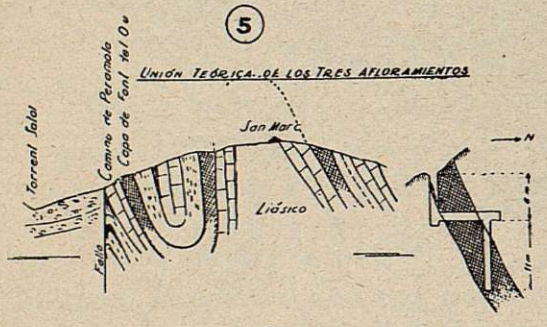


Fig. 5

En efecto, subiendo desde el lugar de los expresados afloramientos hacia la altura de San Marc, aparecen las margas con profusión de Gripheas, Rinconellas y Terebrátulas, y a continuación, hacia el Norte, reaparece la capa bauxítica en circunstancias corrientes y prosigue en el mismo sentido la cobertura cretácea superior. Por el contrario, hacia el Sur o ladera de la Font de l'Ou (mina «Esperanza» del plano núm. 3, se reproducen las calizas de tipo Campaniense y cubre el paquete arenoso la capa bauxítica y las calizas del muro hasta topar con la falla que se desarrolla a lo largo de la formación. En este lugar y en el borde mismo del camino de Peramola se hallan abiertos trabajos de relativa importancia, que penetran por la capa mineral, y la deja al descubierto en toda su potencia hasta una profundidad de 17 mts. Consiste en un pozo vertical de 6 mts., un crucero hacia el Norte y otro pozo de 11 mts. (véase el detalle de la fig. 5).

Los demás trabajos de esta zona de Peramola se reducen a varias calicatas que ponen a la vista sendos crestones del criadero hacia Poniente de modo relativamente preciso, siguiendo los dos flancos del asomo jurásico, que a modo de espina dorsal se desarrolla por los altos de San Marc y casa del mismo nombre, donde el yacimiento mineral gira ciñéndose al camino, como constituyendo el arco que une las dos series de asomos que corresponden al flanco meridional, según se muestra en el plano núm. 3, cierre que parece acreditado, además, por la presencia de margas liásicas en las inmediaciones y en el camino de la Ermita.

Como se deduce de lo expuesto, en esta zona de Peramola el mineral se halla encajado, lo mismo que en la zona de Camarasa, entre las calizas, sin fauna aparente, postliásicas y las areniscas Infracretáceas.

Zona de Aliñá-Alsina.—Las concesiones mineras San Luis, Ampliación a San Luis y San Juan en su límite occidental, concuerdan con un bien definido anticlinal de dirección NE-SO., plano núm. 4, cuyos flancos se aprecian con toda claridad, observados desde las labores de esta última mina.

Hay un número importante de calicatas y labores de reconocimiento. Entre éstas la de mayor importancia es un socavón de unos 27 mts. de longitud, en el extremo occidental de la mina «San Juan», fig. 6, que tiene casi toda su longitud abierta en mineral. Ahora bien, según nuestra observación, no parece corresponder esa masa atravesada a la potencia del criadero por la razón de que la labor está abierta precisamente en las cercanías de la cresta del pliegue, es decir, como formando la cuerda del arco suave que en dicho lugar corresponde a aquél. No obstante, como queda mineral en el piso de la labor, y sobre el techo sigue hasta la misma superficie, recubierta con poco espesor de arena en los sitios donde no aflora, la potencia mineralizada ha de ser superior a 10 mts.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

A uno y otro lado de este socavón queda visible la capa mineralizada en diferentes calicatas, hechas algunas sobre el techo arenoso, y en esta forma se extiende al NE., en más de 400 mts. y otros 100 al SO., o sea unos 500, hasta topar, hacia el Sur, con una falla, figura 6 y plano núm. 4, consecuencia de la cual son

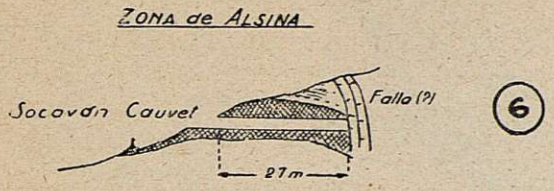


Fig. 6

unas grietas rellenas de mineral, con calizas en ambos hastiales y posición muy inclinada, unos 70° con el horizonte, que quizá hayan sido las que, en parte, dieron lugar a la creencia de que se trata de grietas de relleno, pero que, a nuestro juicio, son consecuencia de accidentes locales.

En el mismo flanco, al NE., correspondiendo con la mina «San Juan» y paraje denominado «Coll de Fumés» (plano núm. 4) y al SO. en el paraje del «Castellons», se aprecian nuevos afloramientos de bauxita. Son partes evidentes del mismo horizonte de Alsina y «Serrat del Prat del Auca», aunque denudado y superficialmente separados por la interposición de las arroyos o barrancos de Alsina y Ballonga.

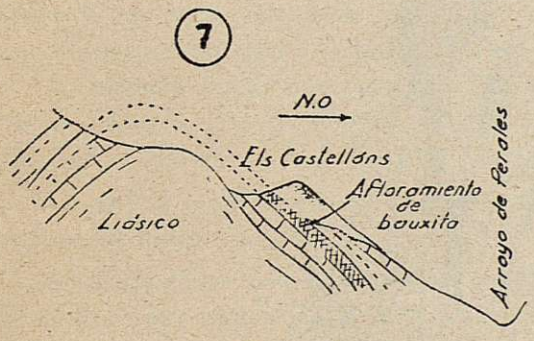


Fig. 7

La disposición corriente de este anticlinal queda representada en las figs. 7 y 8: la primera, para dar idea de la disposición y marcha de la capa bauxítica cortada por la carretera y el camino antiguo, en el ««Castellons», y la segunda, para representar el afloramiento del «Coll de Fumés», donde se muestra con poca precisión por falta de labores, pero evidente por la gran cantidad de mineral desparramado en la superficie e ir acompañado, además, por los horizontes calizo-arenosos del techo, y en Serrat del Prat por asomos tambien de tinte rojizo y arenas asimismo.

A partir de estos lugares se siguen, dentro de esta parte media entre Alsina y Tuxent, los afloramientos

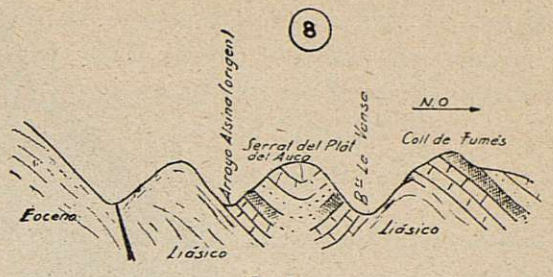


Fig. 8

bauxíticos con su cortejo de calizas y areniscas en distintos lugares, tales como en el barranco del Valdefuentes o Barulla y en el Cortal de Rumá, que denotan el paso evidente del horizonte bauxítico; pero son de tan escasa importancia en cuanto al mineral visible y tan separados entre sí, que no justifican más que la condición de ser testigos del paso, sin otro interés material de momento.

Zona de Tuxent.—Y entramos, por último, pasado el pueblo de Osera y dentro del valle de La Vansa, en la interesante zona de Tuxent, donde reaparecen nuevos y bien definidos afloramientos en la citada mina de «San Juan» y en la de «San Pedro», orientados como

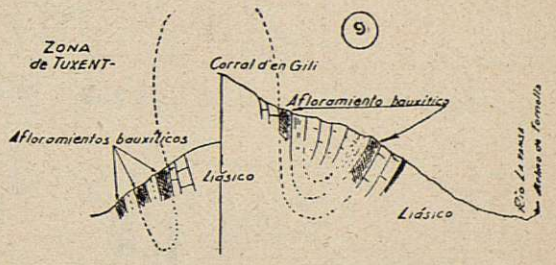
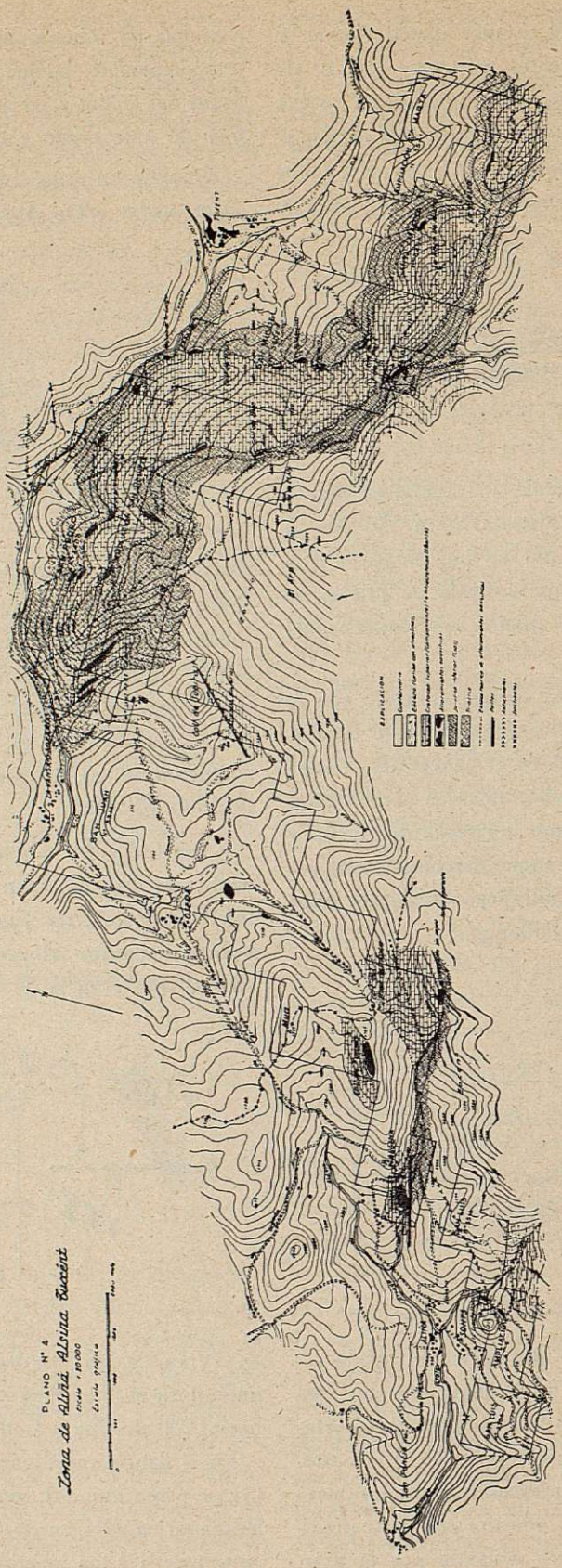


Fig. 9

en Peramola, en los dos flancos del macizo jurásico que aflora en San Pere y sigue por el Corral d'en Gili hacia Coll de Buc y Coll de Port.

En el flanco meridional del macizo son algo escasos (véase plano núm. 4), pero en el septentrional se manifiestan orientados en dos filas tan seguidas, tan próximos entre sí y tan repetidos que, salvo en determinados

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO



FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

barrancos de fuerte denudación que penetran hasta el fondo liásico, podrían suponerse casi sin solución de continuidad y adoptando la disposición sinclinal más o menos abierta y tumbada que señalamos en las figuras 9 y 10.

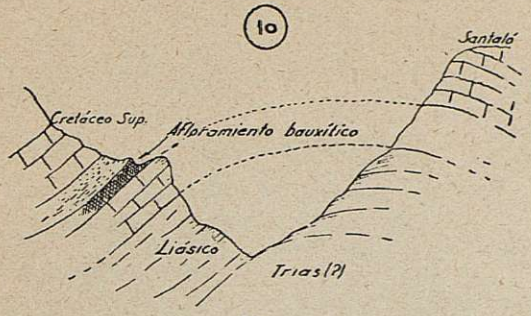


Fig. 10

En la mayoría de estos asomos, tanto en los de la fila inferior como en la álta, no hay más trabajos de reconocimiento que simples rozas que dejan al descubierto el criadero con toda evidencia, siempre acompañado por sus dos horizontes: las areniscas por el techo y las calizas por el muro, que definen, a fuerza de repetirse en distancias kilómetricas, la marcha del mineral. Sin embargo, en la mina «San Miguel», próxima al río La Vansa y al lugar de emplazamiento de la futura presa de un aprovechamiento hidroeléctrico en estudio, aguas arriba y cerca del Molino de la carga, se halla un socavón que no se ha podido recorrer por estar hundido, y que, según referencias, tiene longitud de 30 mts., al final de los cuales se derivan dos galerías, una a la izquierda que atraviesa el yacimiento hasta cortar las calizas, y otra a la derecha que lo sigue asimismo hasta las areniscas.

En la superficie se ha comprobado el potente afloramiento de este lugar en longitud superior a 100 mts.

La disposición de sus hastiales concuerda con las que sigue en su misma y sinuosa línea de afloramientos (plano núm. 4), entre ellos, en Fontanella, Pequara y Font de Gallinó, dentro de la misma concesión; las del barranco de Ravajols, y otros más. Y como, por otra parte, resultan invertidos esos hastiales en su apariencia superficial en relación con los del paraje de Cavot (mina «San Pedro y su Ampliación»), Costal del Rusá y en el mismo Coll de Port (mina «María de las Nieves»), se infiere que en esta ladera septentrional la disposición del yacimiento y de todo el paquete de capas donde encaja, debe afectar, como en Peramola, la forma sinclinal en ramas más o menos cerradas, según el lugar de observación o que hayan sido más o menos afectadas por el empuje que las ha plegado.

En la concesión La Moixa, dividida por el citado barranco del Ravajols, cuya denudación penetró hasta mellar su fondo liásico, se interrumpe la capa para reaparecer potente en la ladera Norte del Roc de la Carbasa, donde constituye también otro pequeño sinclinal aislado del anterior por la aludida denudación.

GRUPO CENTRAL

Zona de Mediona.—Las primeras minas observadas en esta región central han sido las que constituyen la agrupación occidental del pueblo, en la falda SO. y primera estribación de la Sierra de Puigfred o de Rocamur (véase plano núm. 5).)

Se trata de afloramientos distribuídos esporádicamente dentro de las concesiones mineras de dicha agrupación, que no tienen otro enlace aparente entre sí que el de corresponder todos a un mismo horizonte geológico, cual es, en general, el de las arcillas y margas de color vinoso, rojo y gris, frecuentemente intervenadas de yeso en escamas, pertenecientes a la formación triásica, recubiertos, en algunos lugares, por las calizas oquerosas, de tono pardo amarillento, y, a veces, compactas y espáticas, del tramo superior de la misma formación.

El más importante dentro de esta agrupación es, sin

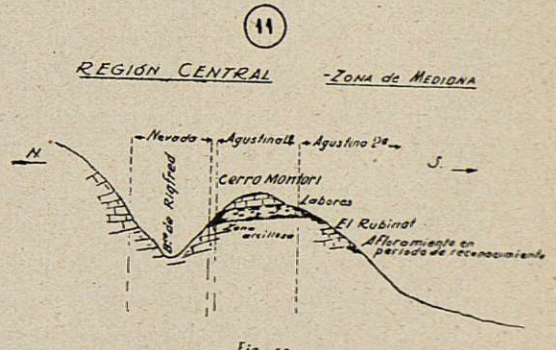


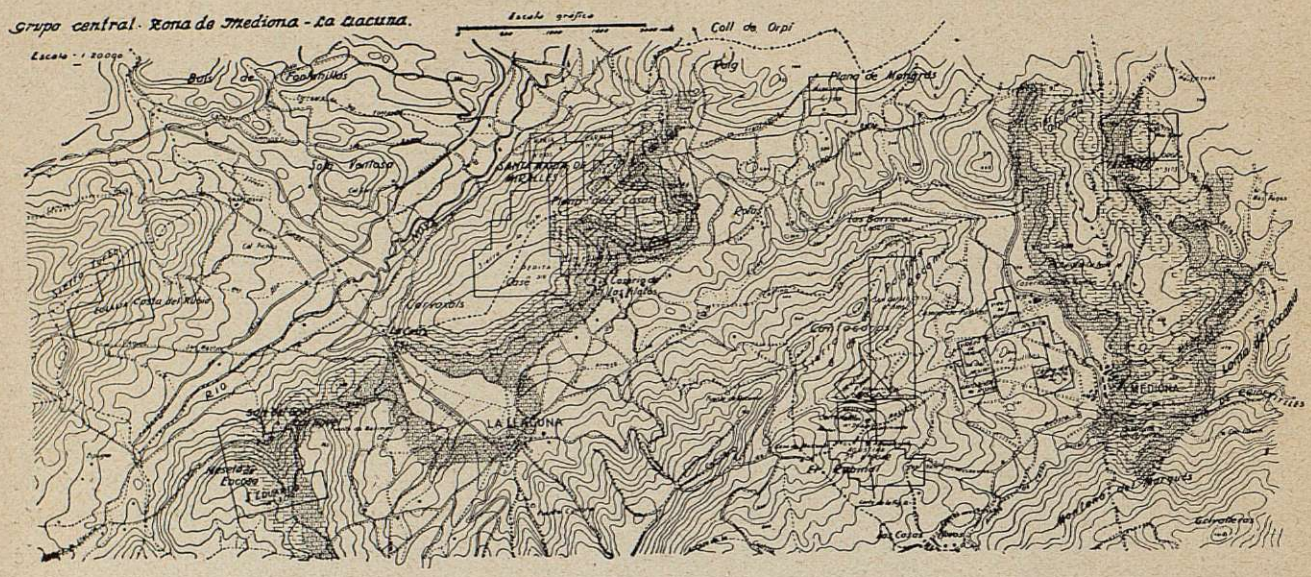
Fig. 11

duda, el comprendido por las concesiones «Nevada» «Agustina 1.ª» y «Agustina 2.ª» (plano núm. 5 y figura 11). Es un yacimiento, de todos modos, de poca seguridad de producción, por tratarse de un conglomerado incoherente en el que el mineral se halla en blo-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ques aislados sin regularidad en su reparto dentro de la masa, que ha sido fuertemente removida ya y ha dado muchas toneladas de dicha mena.

La parte de explotación más acentuada hasta el día corresponde a la mina «Agustina 1.ª», pero en la actualidad se inicia un reconocimiento en la «Agustina 2.ª», en la misma ladera y paraje del Rubinat, figura 11, en la que se ha puesto a la vista un pequeño afloramiento de buena apariencia y calidad, a juzgar por los análisis hechos del mismo. Es, evidentemente, un asomo más del anterior referido; de la misma variedad de mineral, de textura pecosa o pisolítica y sin que pueda añadirse otra cosa en cuanto a su importancia, porque se trata de un terreno en cultivo que realmente oculta la que pudiera ser extensión mineralizada.


Grupo central - Zona de Mediona - La Lacuna.
Escala gráfica
Coll de Orpí
Puig
Plana de Matagrats
Balls de Fondanillas
Font Fontalba
Casa Nova de Mirallas
Casa Nova dels Rubinats
Casa Nova dels Rubinats
Les Borroques
Les Cabanyes
Mediona
Cal Pere
Cal Pere
Cal Pere

ta», y reconocido por un socavón de unos 40 mts. de longitud, fig. 12, en la dirección E.-NE. aproximadamente, que es sensiblemente normal a la del criadero, con dos registros a la izquierda y derecha, respectivamente, de su entrada y del final. Se trata de una capa de estructura uniforme, textura conglomerada y que, en determinadas partes, como sucede en el segundo registro de este socavón, presenta zonas de bauxita blanca, de especial calidad. Esta masa concuerda en posición y estructura con la de las minas de la zona de Montorí, es decir, que se apoya en las margas de color vinoso y grisáceo y está coronada por las calizas, ora oquerosas, ora compactas, a veces brechoides o sabulosas del tramo superior triásico, siendo su composición muy semejante. Observado el horizonte calcáreo hacia la loma de Rocamur, aparece como cobertera en disposición anticlinal suave cuyo eje parece dirigido hacia la sierra de Orpinell con paso entre la mina y Cal Santaló.

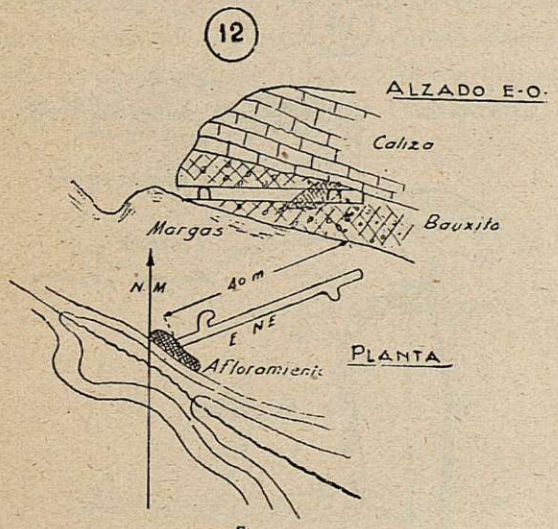


Fig. 12

Siguiendo, por último, el mismo accidente tectónico en el paraje del Puig, se encuentra la mina «Margarita» sin más labores de reconocimiento que una zanja de 4 mts. de longitud por 1 de profundidad, y otras varias calicatas distribuídas a su alrededor en la pequeña meseta, donde aparece el mineral a flor de dichas margas en las que se encuentran restos de carniolas de tinte ocráceo. Aparentemente es un afloramiento mineral poco importante, bien que tampoco son muchos los trabajos de investigación que sobre el mismo hay ejecutados.

Zona de La Llacuna y de Santa María de Miralles.— Puede decirse, al referirse a esta zona de la región central, que es en ella donde realmente hemos empezado a observar un cambio radical en el modo de estar o de yacer de estos criaderos bauxíticos en relación con todo lo dicho sobre la región subpirenaica e incluso aún dentro de la zona de Mediona. Así como en aquélla se hallan encajados de modo evidente entre las rocas sedimentarias del Infracretáceo, e incluso en ésta de Mediona aparecen también comprendidos entre horizontes del Triásico superior aunque con estructura distinta con apariencia de arrastre, éstos de la zona de La Llacuna son, en su casi totalidad, restos quizá de algún horizonte desaparecido, pero en definitiva clásicas «bolsadas» que cortan la estratificación y que se hallan localizadas en masas de mineral adoptando la forma más o menos parecida a la de embudo o de cuña de límites tajantes donde, después de extraída de ellos la mena, no queda otro rastro, generalmente, que el de una especie de envoltura, si acaso, de pizarra arcillosa, algo abrillantada y negruzca como de 1 m. de potencia y estéril.

Comprenden los criaderos de esta zona, que aparentemente se muestran más importantes, la agrupación de minas de la sierra de la Costa con extensión superficial de 4 kms., aproximadamente. Dan vista, por el Sur, al Valle de La Llacuna, y por el Norte, al de Santa María de Miralles. Corresponde el centro de la misma al eje de la citada sierra.

Tampoco tienen dichos criaderos otra analogía entre sí que la de estar encajados en el mismo horizonte geológico, cual es el de las calizas oquerosas o carniolas del Trías, o las compactas correspondientes al mismo tramo. Incluso algunos de ellos como los que luego describiremos de las minas «Eulalia» y «San Eduardo», que por estar situados en los bordes mismos de las calizas con alveolinas de la formación eocena, pudieran tomarse como tales (y, en muchos momentos, obligan a dudar sobre si corresponden o no a dicha formación), entendemos que no difieren de los demás en este sentido.

Aparte de esta igualdad —repetimos— de armazón filoniano, no se ve otro enlace así. Todos forman masas o bolsadas aisladas, de contornos variados e irre-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

gulares, pero siempre tendentes a la configuración redondeada y disposición de cono truncado invertido, cuya altura no debe ser mayor de 10 mts., aunque en algunos casos han tenido más de 50 mts.

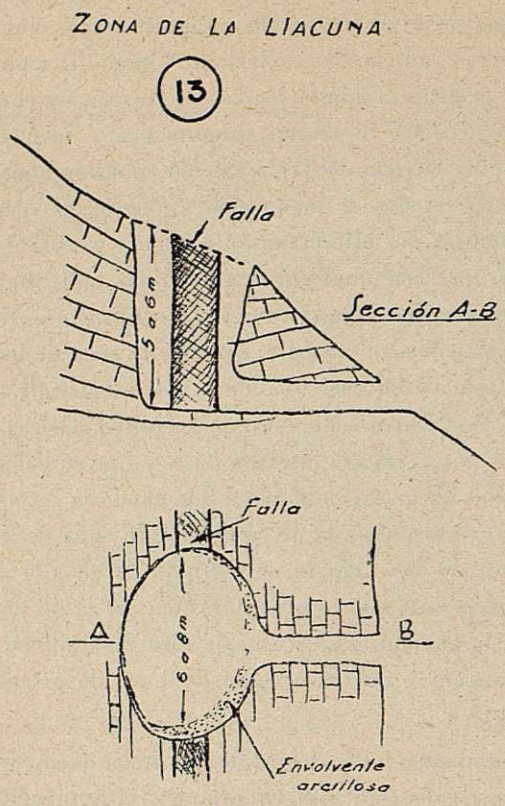


Fig. 13

Suelen coincidir con determinadas fallas del terreno o simples litoclasas, como si ellas hubieran podido mediar en la formación de tales yacimientos, favoreciendo quizá el paso de las soluciones intermitentes bauxitíferas que les han dado origen.

La primera de estas bolsadas, observada, la hallamos completamente vaciada. Pertenece a una antigua explotación llevada a cabo allá por los años de 1916 hasta el 40 de un modo alternativo. Corresponde a la mina «San Francisco de Asís», de la citada agrupación, plano núm. 5, y su emplazamiento concuerda con el paraje de El Casals en la vertiente SE. de la repetida sierra. Su vaciado representa un hueco de unos 6 a 8 metros de diámetro medio por otros 5 a 6 mts. de altura total, del que arranca una pequeña trinchera por la que han dado salida al mineral hasta la ladera, fig. 13.

No queda en este hueco nada de mineral y se muestra la roca encajante en disposición de suave ondulación, con su correspondiente falla, que corta a la estratificación siguiendo la vertical del embudo, y con restos laterales de la aludida envolvente arcillosa, abrillantada y negruzca de 1 m., aproximadamente, de espesor.

En la ladera opuesta, dentro de la concesión minera «Francisca» y concordante su horizonte geológico, aparece otro afloramiento en el que hay un desmonte o tajo a media ladera con bordes parecidos a los del vaciado referido. No tiene más labor; pero por la expresada analogía se supone penetrante verticalmente y allí se halla ya iniciado un socavón, como a unos 10 mts. por debajo del desmonte, con el propósito de recortarla a esa profundidad.

Después de esto, pasamos el frondoso y pronunciado barranco denominado de Clot del Llop (barranco del Lobo), no sin ojear otros diversos pero no demasiado importantes asomos inmediatos al camino de la casa del Coll, uno de los cuales corresponde a un bien definido arrastre en el fondo del valle, y llegamos a la cima del citado barranco, casi al borde mismo de la meseta,

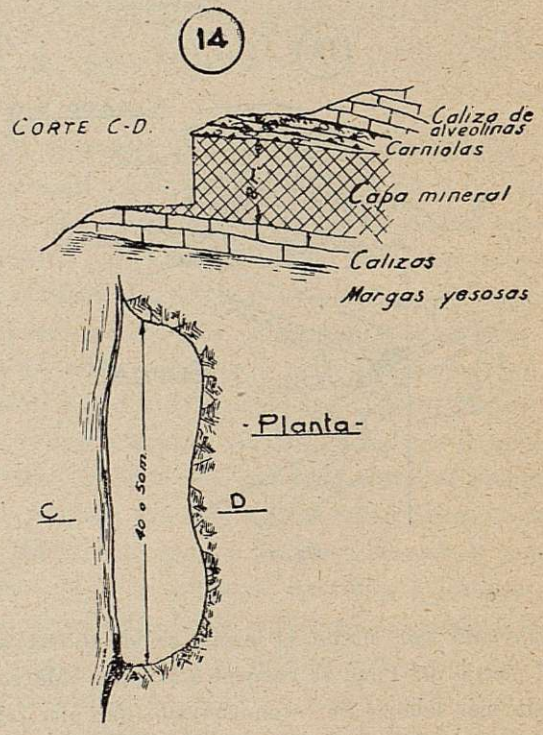


Fig. 14

donde se halla enclavada la mina «Conchita». En ella aparece un tajo a nivel, de unos 40 a 50 mts. de frente y 5 ó 6 de altura, fig. 14, que es, sin duda, de los de mayor interés de la zona. Arma en plena caliza triásica

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

y la cubre una pequeña zona terrosa amarillenta, producto de la descomposición de las carniolas, y remata por las calizas de alveolinas del Eoceno.

Una particularidad que acrece el valor de este asomo es que a unos 150 a 200 mts. del tajo, hacia dentro de la meseta, existe un pocito que lo ha recortado, según referencias, en idénticas condiciones, y, además, algunos de los análisis efectuados del mineral del corte han resultado con proporción de sílice no superior al 6 % en casos repetidos: es este afloramiento, quizá, el más interesante de la zona.

Siguiendo la meseta de calizas de alveolinas, hacia el valle de Santa María de Miralles, se halla poco después de alcanzado su borde, en plena vertiente, la explotación más importante de la agrupación, correspondiente a las minas «Adelaida» y «María».

El emplazamiento de esta masa de mineral es de los considerados confusos; se halla coincidente con un contacto evidentemente anormal entre las calizas de alveolinas y una zona de arrastre, fig. 15, en donde, por cubrir porciones de laderas en las cercanías del fondo del valle, también eoceno, parece un criadero abierto en dicho horizonte geológico; pero se ve con toda seguridad que arma en las calizas del Trías en cuanto se

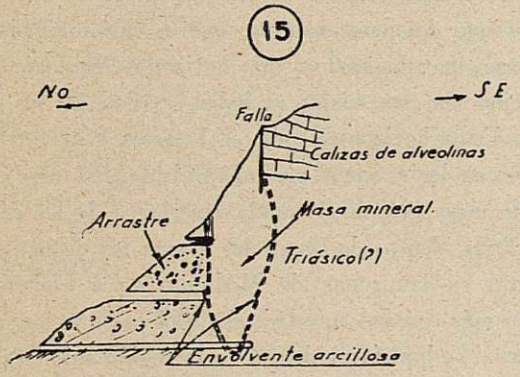


Fig 15

observan sus capas y se comparan sus facies con los restantes del mismo armazón. En todo caso, es de configuración similar y génesis idéntica a los de La Llacuna, sin que falte su falla correspondiente. La irregularidad de las labores abiertas y la propia del yacimiento, no permiten calcular con la debida precisión el tonelaje restante para arranque inmediato. Pero teniendo presente la marcha de su contorno en el sentido de la profundidad, bien se aprecia la vida relativamente corta que tendrá, al ritmo de su explotación actual.

Nos referiremos, por último, como correspondientes al valle de Miralles, a las dos minas restantes y aisladas en la parte más occidental del mismo, emplazadas en ambas laderas opuestas; una, en la Costa del Rubió, vertiente SE. de Sierra Turbal, y la otra en la NO. de la meseta de Encosa y paraje del Salt del Gos (Véase el plano núm. 5).

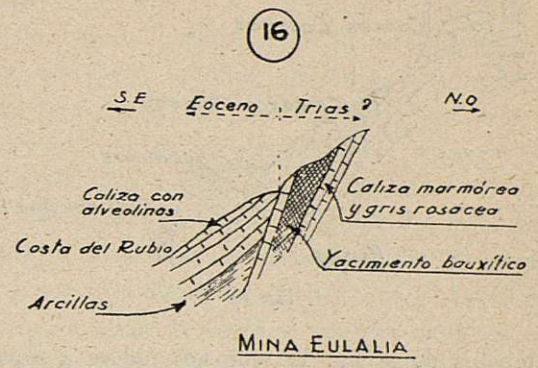


Fig. 16

En presencia de los afloramientos de estas minas surge idéntica duda acerca de su armazón; con Eoceno en el fondo del valle y cubiertas las alturas por las calizas de alveolinas, que ascienden recostadas por la ladera de Sierra Turbal, parecen evidentemente enclavadas de esta formación geológica. Sin embargo, subiendo hacia la mina «Eulalia» y pisando, en efecto, las calizas con profusión de ejemplares de esta fauna, se alcanza un cambio evidente, poco antes de las manifestación bauxítica o afloramiento del mineral. Las calizas pierden su característica facie; se tornan estériles, marmóreas, de tono rosáceo y gris; surgen de súbito con inclinaciones mayores que las de la cuesta, fig. 16, hasta alcanzar los 80 y más grados con el horizonte, y quedan las primeras apoyadas sobre las segundas con cierto diapirismo y contacto anormal. Entre estas segundas se encaja el yacimiento bauxítico y por analogía de las mismas con las consabidas triásicas, nos inclina a incluirlo como las demás en dicha formación.

Algo parecido nos sugiere la ladera opuesta, donde se encuentra la mina «San Eduardo». Las calizas eocenas coronan la mesa de Encosa y en el fondo existen las margas del mismo terreno. Pero siguiendo el camino que arranca desde el Km. 31 de la carretera en

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

el paraje de La Cruz, hacia el Salt de Gos, se pisan las margas y carnolas del Trías hasta C. Novel muy levantadas, siguiendo con rumbo hacia el propio afloramiento, donde observamos la disposición parecida

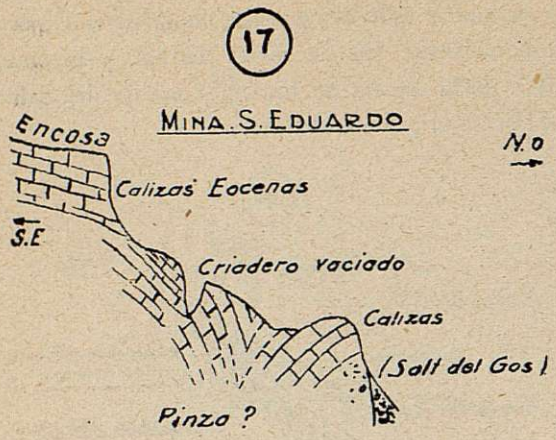


Fig. 17

al croquis de la fig. 17, que nos induce a suponer asimismo que dicho afloramiento, rodeado de rocas terciarias, debe corresponder igualmente al horizonte triásico, no bien definido por la carencia de fauna, pero estratigráficamente con gran evidencia.

En ninguno de ambos afloramientos existen trabajos de importancia y sí simplemente vaciados para dar fe de la presencia del yacimiento.

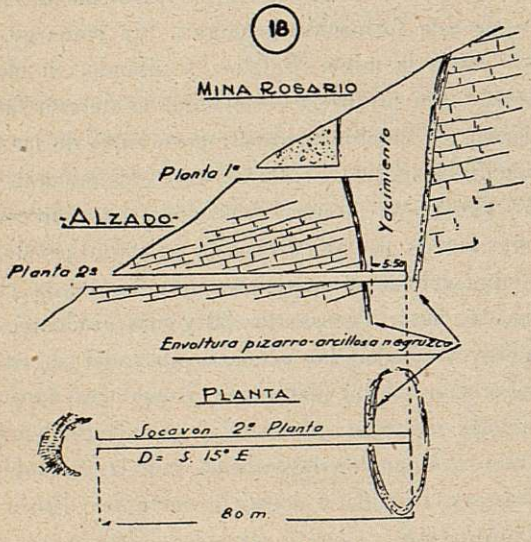


Fig. 18

Zona de Ayguamurcia.—Y como final de nuestro estudio de esta región central, hemos de consignar la existencia de una nueva bolsada de parecida contextura a las enumeradas, particularmente a la de la mina «Adelaida», que arma en las calizas triásicas de estratificación sensiblemente horizontales o ligeramente inclinadas (véase la fig. 18).

Nos referimos a la mina «Rosario», emplazada en la zona de Las Poblas y paraje de El Miracle, cuyas labores han puesto de manifiesto una importante masa de mineral que se está explotando, y cuya disposición, como en la aludida mina «Adelaida», es de contorno redondeado, de sección irregularmente oval y corta a la estratificación en forma de cuña de suave bisel y relativamente profunda. En la planta 1.ª se ha presentado con más de 20 mts. de potencia en algunos sentidos y en la actualidad se avanza un socavón de media ladera que alcanza unos 80 mts. de longitud total, abierto y seguido en caliza triásica, al final del cual lleva 5,50 mts. después de pasada la envoltura pizarra-arcillosa, lustrosa y negruzca, en pleno criadero y con su frente en mineral todavía, lo que permite esperar profundice aún más.

II.—EDAD Y GÉNESIS DE LOS CRIADEROS

Es evidente, después de la descripción de los criaderos que dejamos expuesta, que es casi obligado establecer, por lo menos, dos horizontes geológicos en relación con los cuales se halla la edad de los mismos. Estos horizontes son: el Triásico y el Infracretáceo; es decir, que el yacimiento bauxítico tiene como límite más antiguo el tramo superior o de las calizas del Trías, dentro de las cuales arman los de la región central en las zonas de Mediona y La Llacuna, y como más cercano en edad, el Cretáceo superior, antes del cual se han formado los de la región subpirenaica. Pudieran, no obstante, corresponder también unos y otros a la misma etapa de formación en los sucesivos cambios del nivel hidrostático y de las influencias meteóricas durante el período de emersión del Infracretáceo.

En todo caso, lo interesante desde el punto de vista económico es saber si la laterización o ataque de la roca madre se ha verificado antes o después del pliegue sufrido por las capas, puesto que si se ha formado el yacimiento antes del plegamiento puede suponérselo de mayor y más segura continuidad en sus mine-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ralizaciones, porque la indudable acción meteórica y la del nivel hidrostático obrando antes del repliegue pudo afectar a todo el grueso o potencia del horizonte laterítico en formación, mientras que si el yacimiento se ha formado después, la penetración de esos agentes mineralizadores ha actuado hasta un determinado nivel solamente y el fondo de los sinclinales puede hallarse completamente estéril.

Este sería el caso más desfavorable dentro del que nos ocupa para el cálculo de la cubicación y tonelaje disponible; pero, como en la práctica se ha visto que en uno y otro caso dicha penetración alcanza por lo menos 50 mts. de nivel, demostrado en los depósitos centrales, quiere decirse que, si adoptamos la cifra de 30 mts. en nuestros cálculos, los resultados que se obtengan han de ser inferiores a la realidad.

III.—CUBICACIÓN Y TONELAJE PROBABLE

Ha quedado demostrado que el yacimiento bauxítico está intercalado entre capas que jalonan su marcha, y como tal premisa es dable atribuirle cierta continuidad, sobre todo más allá de las labores hechas, tanto en longitud cuanto en profundidad.

Por falta de reconocimientos suficientes prescindimos por completo de la cubicación de las capas de bauxita del grupo Norte, existentes en las zonas de Santa Liña-Camarasa y Alós de Balaguer, así como de las del grupo Sur, por la misma razón, advirtiendo que sólo a estas últimas el señor Kindelán, en su notable trabajo (3), las asigna un contenido aproximado de 1.534.000 toneladas seguras y 2.882.000 probables.

Grupo Norte

En la zona de Peramola los afloramientos se manifiestan en un recorrido medio aproximado de 5 kms.; en la de Aliñá-Alsina, de 3, y en la de Tuxent, de 10. En total, 18 kms. Si tenemos en cuenta sólo la quinta parte de las respectivas longitudes de los afloramientos, admitimos que su potencia sea de 10 mts. y que la mineralización alcance una profundidad mínima de 30 mts., a la que han llegado algunos reconocimientos, tendríamos:

Zona de Peramola	300.000 m³
» » Aliñá-Alsina	180.000 m³
» » Tuxent	600.000 m³
Total	1.080.000 m³

de *mineral visto* arrancable. Aceptando la cifra de 2,5 para densidad media de las capas, inferior a la de la bauxita, se obtiene una cubicación de más de 2.500.000 toneladas métricas de mineral.

Considerando las importantes reducciones que hemos efectuado para calcular el volumen del mineral, no es muy aventurado esperar que éste alcance una cubicación superior al doble de la obtenida.

Grupo Centro

De lo expuesto anteriormente, al describir las minas de este grupo, se infiere que no es fácil cifrar, ni ni aun siquiera de modo aproximado, el volumen, y, por consiguiente, el tonelaje de posible arranque que en él exista, pues a excepción de las tituladas «Adelaida» y «Rosario», de criadero relativamente definido y en las que se admite la existencia de 200.000 toneladas, en todas las demás sólo se han hecho labores que se limitan a poner de manifiesto algunos crestones, sin penetración en los mismos. Hay, no obstante, algunas como la mina «Conchita» en la sierra de la Costa, de la zona de Santa María de Miralles, donde es admisible suponer que, por lo menos, hay 100.000 toneladas, por contar con 20 mts. de frente, 8 de altura y 200 de penetración, en mineral visto y continuar el criadero en las mismas condiciones, más allá de las labores efectuadas. La mina «Teresita», de la sierra de Orpinell, en la zona de Mediona, alcanza la mitad del tonelaje de la anterior, al que añadiendo el que corresponde a los demás afloramientos y minas en explotación, permite fijar el global de esta zona en no menos de 300.000 toneladas métricas.

En resumen, sólo en las zonas reconocidas, al menos parcialmente, de los grupos de minas del Norte y Centro, existen más de 2.800.000 toneladas de bauxita.

IV.—COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS BAUXITAS CATALANAS Y SU APTITUD PARA LA FABRICACIÓN DE ALUMINIO

La composición química de las bauxitas catalanas no sólo difiere de una a otra zona, sino hasta dentro de una misma capa estratigráfica. Esto obliga a efectuar un estrío cuidadoso a mano, en los mismos tajos, para separar las bauxitas rojas, aptas para los tratamientos apropiados, con arreglo a su porcentaje en

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sílice, y las bauxitas blancas para la fabricación de sales de alúmina.

Las bauxitas rojas, cuyo contenido en sílice es superior al exigido para esos tratamientos, se suelen vender, cuando ello es posible, para la fabricación de cemento, material refractario y abrasivos.

De los muchos análisis efectuados, presentamos los hechos en nuestros laboratorios del Instituto Geológico y Minero de España, al tomar directamente las muestras en los afloramientos o en las minas con motivo del estudio geológico-minero, anteriormente expuesto, que podemos considerar como representativos.

DESIGNACION DE LAS MUESTRAS

FECHA DE LOS ANÁLISIS: JULIO Y AGOSTO DE 1949

	SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %
Zona de Camarasa:			
Alós de Balaguer (Font de les Comes)	12,00	50,00	18,00
Zona de Sta M.ª de Miralles:			
Mina «Adelaida»	6,10	69,30	8,15
Zona de Paramala:			
Paraje de Font de L'Ou	7,60	61,95	27,65
Zona de Taxent:			
Mina «S. Miguel». — Escombrera del socavón	16,00	58,01	19,19
Mina «Nieves». Paraje de Coll de Porte	10,40	62,40	18,80
Zona de Mediona:			
Mina «Agustina 1.ª»	8,40	77,19	4,81
» «Agustina 2.ª» (afloramiento)	8,80	77,10	4,50

Del cuadro anterior se deduce que el contenido en sílice de una buena parte de las bauxitas catalanas es superior al de los yacimientos franceses, pero que éstas son equivalentes o mejores que algunos criaderos que se hallan en explotación en los Estados Unidos, de donde se dice que el mineral pobre en sílice se terminará en un plazo de seis años.

En la toma de muestras se ha procurado elegir trozos de mineral de calidad media que pudiéramos considerar representativos del que contiene la zona correspondiente. En todas ellas se pueden tomar muestras con mayor y menor cantidad de sílice, no siendo difícil encontrar ejemplares con un 3 ó 4 % de sílice, y otros que superan a los porcentajes indicados en el cuadro.

Estos porcentajes en sílice e incluso algunos mayores, procedentes de muestras de inferior calidad, eran conocidos desde principios del siglo actual, al iniciarse algunas explotaciones de las bauxitas catalanas para fabricar cemento y productos refractarios y, por ello, se afirmaba que aquéllas no servían para la fabricación de aluminio.

El año 1920, el geólogo don Primitivo H. Sampelayo publicó el trabajo (1) en el que sentaba la afirmación anterior. Esta opinión estaba entonces justificada. En el mercado libre mundial era imposible competir con Francia y Estados Unidos, que poseían minerales de excelente calidad y fácil exportación, y nosotros teníamos que recurrir a la importación de aquéllos para abastecer a la fábrica de Sabiñánigo, fundada el año 1929.

Esta mentalidad, en lo que a la aptitud de las bauxitas de Cataluña para la fabricación del óxido de alúmina se refiere, continuó durante muchos años por no hacerse investigación alguna y tener el mismo origen todas las informaciones que sucesivamente se han ido dando de este asunto.

Pero estalla la conflagración mundial y cambia por completo el estado de cosas que se había creado. Se hace difícil y cada vez más restringida la importación francesa y hay que recurrir a la del metal ya fabricado y pensar en la necesidad de estudiar el aprovechamiento de los minerales españoles.

Se funda con este fin en Barcelona, el año 1940, una Sociedad titulada «La Alquimia», que comienza su labor con detenidos estudios de laboratorio. Terminados éstos, monta una fábrica-piloto para producir sulfato de alúmina y otras sales de aluminio, con tan buen éxito, que tiene que ampliarla varias veces. Estas sales son empleadas en las fábricas de papel; estaciones clarificadoras de agua; fábricas de curtidos, tintas y cerámica.

El Consejo Ordenador de Minerales Especiales de Interés Militar (COMEIM), en cumplimiento de su misión, requiere a «La Alquimia» para que prepare el hidrato de alúmina a partir de sus minerales, que, una vez tostado, debía enviarse a la fábrica de Sabiñánigo para su transformación en metal.

El éxito fué excelente al comparar los resultados obtenidos con varias partidas de óxido de alúmina enviadas por La Alquimia con los correspondientes a los de mejor calidad procedentes de Francia y cuyos resultados se exponen en la Memoria del COMEIM de los años 1941-1946 (6), en la que se afirma que es una

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

realidad la fabricación en España de óxido de aluminio, de calidad igual o superior a la extranjera y que en Cataluña existen bauxitas apropiadas para su fabricación.

La pureza del aluminio obtenido en Sabiñánigo, con las partidas de alúmina procedentes de las bauxitas españolas, fué del 99,5 a 99,6, y completamente normal su contenido en silicio y hierro, que según Panseri (10) tiene que estar comprendido entre:

$$Fe = 0{,}30 \text{ a } 0{,}60\ \% \qquad Si = 0{,}15 \text{ a } 0{,}40\ \%$$

para obtener aluminio que se adapte a casi todos los usos —salvo los químicos y eléctricos— y no está justificado el empleo de títulos superiores, a no tratarse de casos especiales.

Algunos autores, al hablar del efecto nocivo del hierro en la fundición de aluminio, generalizan el problema, hablando, exclusivamente, de la formación, en aquella, del compuesto $Fe\ Al_2$ de naturaleza ácida y extremadamente perjudicial para la resistencia mecánica, y, muy especialmente, para la ductibilidad. Esta manera de generalizar no está justificada, ya que la existencia del $Fe\ Al_2$ depende de que los demás elementos existan en determinadas cantidades, y, en ciertos casos, por ejemplo, en contacto con el del silicio en cantidades mínimas, se impide en absoluto su formación, según demuestra Panseri en su obra citada (10).

Al contrario, por encima de un cierto contenido en Si, el efecto del Fe se manifiesta en la estructura micrográfica, con la formación de un nuevo compuesto, de naturaleza ácida, perjudicial en alto grado. Por esto, las aleaciones del tipo *Silumin* (13 % de Si), tienen que contener una cantidad de hierro muy pequeña.

Por lo tanto, no es lícito hablar de la influencia perjudicial del hierro en una aleación de aluminio, sin conocer su composición precisa. Panseri admite que, en algunos casos, hasta puede ser elemento útil.

El Si, en cantidad menor de 1,1 %, no tiene influencia perjudicial en las aleaciones de aluminio, salvo en los tipos que contienen Mg, en las que hay que vigilar la relación Si/Mg, por las razones que se exponen en la teoría de las aleaciones.

En resumen, la fundición de aluminio al título de 99 %, que no contenga Fe y Si, en cantidades superiores a las que hemos mencionado, se adapta a casi todas sus aplicaciones, con las excepciones indicadas.

En los casos especiales que precisan contenido menor de esos elementos hay que tener presente que, en la fundición y en las diversas operaciones que preceden a la colada en los moldes, el aluminio está expuesto al peligro de un rápido enriquecimiento de su contenido en Fe, procedente de la disolución superficial de los crisoles y de la de los instrumentos empleados en la mezcla, escorificación y colada del metal líquido. Por ello es preciso cuidar mejor las manipulaciones para obtener un metal más puro, que sirva para las aleaciones resistentes a la corrosión y las destinadas a la elaboración plástica, como el *duraluminio*. En estos casos, el título normal es del 99,5 %.

Para la preparación de aleaciones con alto contenido de Mg, como el *peralumau* y el *hidronalio*, se debe emplear el aluminio de 99,7 %.

Aún es preciso vigilancia más rigurosa, respecto al tipo de impurezas que tenga la fundición, o de la relación de coexistencia entre aquéllas, cuando se desea obtener aluminio apropiado para usos eléctricos y, muy especialmente, para la fabricación de conductores para el transporte de energía.

Otro punto de vista, muy importante, que hay que tener en cuenta en lo que se refiere a la mayor o menor facilidad que presentan las bauxitas para ser tratadas económicamente por el procedimiento Bayer, independientemente de su contenido en sílice, es la disposición atómica de sus moléculas.

La bauxita es roca de naturaleza coloidal, formada por determinados minerales que entran en ella en distintas proporciones. En su composición se encuentran: los sílico-aluminosos, como la caolinita y la halloisita; la alúmina hidratada, representada por la gibsita, el diásporo y la bohemita; el hierro, en forma de oligisto y de goethita, pues cuando se encuentra la limonita, es sólo como producto de alteración. Estos óxidos de hierro y alúmina, constituyen, con frecuencia, el gel aluminio-férrico.

También contienen titano algunas bauxitas, en forma de rutilo y cinatasa.

Las bauxitas en cuya composición se encuentra el diásporo, no son aptas para el tratamiento Bayer, aunque su contenido en sílice no sea grande, por tener estructura molecular más difícil de romper químicamente, que la de las bauxitas donde predomina la bohemita, que es la que presenta mayor facilidad para esa descomposición, y por esa razón, en Suiza se deter-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

mina, por medio del análisis espectral, si el hidrato de alúmina que contienen está formado por la mencionada especie mineralógica, con carácter dominante, o por otros hidratos que se presten mejor al mencionado tratamiento.

En el Laboratorio de Rayos X de la Universidad de Barcelona, utilizando espectrogramas obtenidos en la Escuela Politécnica de Zurich, el profesor Font-Tullot ha estudiado, por ese procedimiento, 15 muestras de bauxita de las minas de la provincia de Lérida, Tarragona y Teruel. En sólo una de ellas, la gibsita estaba asociada a la bohemita; ocho, estaban constituídas, exclusivamente, por la bohemita; cuatro, tenían indicios de diásporo, y en las dos restantes, el contenido de la citada especie era mayor, pero con predominio de la bohemita.

Con los espectrogramas obtenidos directamente en el Laboratorio de la Universidad de Barcelona, no se apreció el diásporo en ninguna de las muestras analizadas.

Esta composición favorable de nuestras bauxitas, produce disminución apreciable en los costos del tratamiento Bayer para la obtención del hidrato de alúmina.

Ya hemos dicho que la cantidad mínima de óxido de alúmina que deben tener las bauxitas para ser explotables económicamente es del 50 %, y el límite de la sílice no debe pasar del 10 % para que se pueda aplicar el tratamiento Bayer.

Sin embargo, las bauxitas que contienen del 10 al 15 % de sílice son también económicamente explotables y, aun cuando tuvieran mayor cantidad, por otro procedimiento.

En síntesis, dicho procedimiento se apoya también en el sistema Bayer, pero lo complementa con un proceso de cal-sosa-sinterización. Los costos son mucho más reducidos y el producto final es muy puro.

Este procedimiento, cuidadosamente estudiado y perfeccionado (4) —acaba de celebrarse una reunión de técnicos especializados en Amsterdam con ese fin— para hacerlo adecuado a los minerales de que disponemos, análogos y aún mejores que otros que se benefician en varias fábricas de los Estados Unidos, va a ser puesto en práctica por La Alquimia, en la importante factoría que construye en Tarragona, que por el momento, contendrá todas las instalaciones necesarias para producir, anualmente, 5.000 toneladas de óxido de alúmina.

No existe, por consiguiente, problema técnico alguno para obtener el óxido de alúmina de la pureza necesaria para que sirva de materia prima en la fabricación de aluminio. El problema es únicamente el económico.

V.—NORMAS PARA LA INVESTIGACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LAS BAUXITAS

Las consideraciones expuestas en los párrafos anteriores han demostrado, a mi juicio, que España puede contar con una industria propia de fabricación de aluminio, a base de los minerales que posea, aunque éstos no sean de la calidad óptima que todos desearíamos. Es preciso alcanzar en ellos una producción anual de 40.000 toneladas de bauxita, para lo que hay que organizar la explotación de manera intensa. No se nos oculta el inconveniente que representa el hecho de que se halle el criadero demasiado extendido para un mismo volumen de mineral, lo que se traduce en desventajas al establecer una explotación sistematizada. Sin embargo, hay determinados lugares dentro de cada una de las zonas estudiadas, en los que, con toda seguridad, el mineral continúa más allá de los trabajos hechos. Aconsejamos, pues, antes de decidir un sistema normal de arranque, redoblar las labores de investigación, especialmente, en aquellos puntos donde ya se han manifestado el filón potente y con mayor pureza, bien sea empleando la misma clase de labores de prospección, es decir, los socavones y pocillos, o por medio de pequeños trenes de sondeo, que sería el procedimiento mejor, dada la rapidez de perforación, una vez instaladas las sondas y la facilidad de su traslado, de unos lugares a otros.

Y, como remate de nuestras consideraciones sobre las condiciones que el aludido yacimiento reúne en estas zonas, debemos consignar: que, si bien el capítulo de transportes del mineral a estación de ferrocarril o centros de consumo es realmente elevado, tiene compensaciones evidentes por las circunstancias que también concurren en sentido favorable, y que son esencialmente:

1.° Que las condiciones topográficas del terreno donde arma permitirán el ataque par socavón y labor

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ascendente, con lo cual el capítulo de desagües será casi nulo, y el movimiento de tierras, de gasto mínimo.

2.º Que el empleo de explosivos tampoco será excesivo, por tratarse de mineral relativamente blando y permitir el arranque con descalzadora o a pico.

3.º El interesante capítulo de entibación ha de ser de los más reducidos en minería de este género, por encontrarse al pie de obra abundantes y excelentes pinares, y, por último, la posibilidad de trabajo durante todo el año, la relativa facilidad de vida para el minero, y las posibilidades de obtención de fuerza eléctrica para todos los servicios, muy especialmente para la perforación mecánica, son factores que contribuirán notablemente a abaratar la explotación, sin contar con que, en algunos casos, será posible la implantación de arranques a «cielo abierto».

Traducido todo ello a cifras, creemos que la *tonelada de mineral a bocamina no habrá de exceder de 20 a 25 pesetas.*

VI.—ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROBLEMA

El precio de costo del óxido de alúmina anhidro, importado en Sabiñánigo, asciende a 2,66 ptas. el kilogramo, según los nuevos escandallos, pendientes de aprobación, presentados al Sindicato del Metal por «Aluminio Español, S. A.», y el precio oficial de venta, en el mercado interior, para el aluminio que allí se fabrica con ley de 99,5 será de 11,63 ptas., por igual unidad de peso, en cuanto se aprueben los escandallos citados. Como, para producir un kilogramo de aluminio, se necesitan dos de óxido, que importan 5,32 ptas., restan 6,31 ptas. para los gastos que supone la transformación. En el día de hoy rige el de 1,82 ptas. el kilogramo, y a base de este precio, los oficiales del aluminio metal, son los siguientes:

Ley	Ptas./Tm.	y con el nuevo escandallo, tendrá un aumento de (2,66-1,82) 1,68 por kilógramo, resultando los que a continuación se exponen:	Ley	Ptas./Tm.
98-99 o/o	9.702		98-99 o/o	11.382
99-99,5 o/o	9 952		99-99,5 o/o	11.632
99,6 o/o	10.202		99,6 o/o	11.882
99,7 o/o	10.702		99,7 o/o	12.382
99,8 o/o	11.202		99,8 o/o	12.882

Vamos a estudiar a cuánto puede ascender lo que pudiéramos llamar el «precio normal» o «precio nacional» del aluminio metálico en el día de hoy, teniendo en cuenta los análogos de nuestra producción minerometalúrgica, con la condición de que no produzca alteración sensible en el mercado de metales, para deducir de ese precio calculado el que se puede asignar a los óxidos procedentes de las bauxitas españolas, teniendo en cuenta los gastos de transformación mencionados.

Con arreglo a las disposiciones oficiales nas recientes, los precios de los metales que citamos a continuación, en los mercados nacional y exterior, así como los cambios para la importación que se les aplican, son los siguientes:

METALES	Precio en el mercado interior en Ptas./Tm.	Precio internacional por Tm.	Cambios para la importación	Precio internacional resultante f. o. b. en Ptas./Tm.
Cobre electrolítico .	12.830	155 £	52.965 Ptas.	8.208
Estaño de 99,5 a 99,9 o/o	76.000	750 »	66.195 »	49.646
Plomo, lingote . . .	10.340	106 »	(1)	
Aluminio de 99,5 o/o .	11.632	150.000 Fr.	6,30 ptas. por 100 Fr.	9.450

Del estudio de los precios consignados en el cuadro anterior se deduce que el precio nacional del cobre tiene un aumento del 56 % comparado con el internacional; el del estaño, un 53 %, y en el del plomo no se ha fijado aún el tipo de cambio, pero hay que tener en cuenta que se acaba de duplicar su precio para el mercado interior. El del aluminio, por el contrario, sólo tiene un aumento de 0,23 por kilogramo.

Salta a la vista que el precio nacional del aluminio es demasiado bajo comparado con los del estaño y del cobre y que, por consiguiente, no sería justo que no se le concediese la misma protección que a éstos. Para que los precios interiores de los tres metales citados estuviesen en condiciones comparables, hay que aumentar el del aluminio, al menos, en un 27 %, con lo que el precio nacional del kilogramo de este metal sería de 14,77 ptas. Como la producción de Sabiñánigo, unida a las importaciones de metal, es insuficiente para abastecer el mercado nacional, éste tiene que adquirir el aluminio metal en el mercado negro al precio de 35 ptas. el kilogramo y la chatarra a precios

(1) Pendiente de la concesión de cambio preferente y de la reserva de divisas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

que oscilan de 28 a 30 ptas., a los que hay que aumentar el coste de la transformación que está comprendido entre 3,50 y 5 ptas., en igual peso.

Por consiguiente, el precio normal calculado de 14,77 ptas. lo recibirían los consumidores con gran satisfacción.

Calculados los gastos totales producidos en su obtención a partir del óxido calcinado, en 6,31 ptas. por kilogramo, restarán 8,46 ptas. para pagar los dos kilogramos necesarios, o sean 4,23 ptas. para el precio normal del kilogramo.

Fijado el precio nacional de la alúmina anhidra en 4,23 ptas. el kilogramo, es preciso aumentar su protección arancelaria en 1,57 ptas. en igual unidad de peso, puesto que su costo, en Sabiñánigo, es de 2,66 pesetas, o bien aplicar cambios especiales que produzcan el mismo efecto, cediendo las divisas necesarias para ello.

Para comprobar que el precio nacional del óxido de 4,23 es inferior al internacional, así como el efecto de aplicación de los cambios especiales, exponemos a continuación una oferta de importación de óxido de aluminio alemán de 99,46 % de ley, al precio de 8,775 dólares los 100 kgs., mercancía F. O. B. Rotterdam, envasada en bidones de hierro que hace una casa comercial domiciliada en Madrid.

La Agencia de Aduanas consultada, nos proporciona los siguientes datos:

FLETE

De Rotterdam a Bilbao, 32 chelines 6 peniques ton.

De Rotterdam a Barcelona, 355 chelines 0 peniques tonelada.

Con recargo de 5 % en caso de pagarse en destino.

SEGURO

Hasta Bilbao, 0,25 ptas por 100 ptas.

Hasta Barcelona, 0,40 ptas. por 100 ptas.

Tales tarifas sufren un aumento de un 25 % debido a recargos obligatorios, impuestos, etc., etc.

ADUANAS

Sobre alúmina, 27,20 ptas, por ton.

Sobre bidones hierro, 3.124,60 ptas. por ton. (precisan unos 100 kgs. de hierro, por tonelada de alúmina).

OPERACIONES

Jornales en el muelle, reintegros, comisiones, guardería, etc., etc., aproximadamente, unas 190 ptas. por ton.

No se carga nada por los bidones de hierro. Pero si la operación se realizase, seguramente cargarían su importe en la factura.

Basados en tales datos se han preparado los cálculos de coste de la mercancía, situada en España, teniendo en cuenta las dos modalidades de cambios, o sea:

Cambios especiales:	Dólares	13,14 ptas.
	Libras	52,95 »
Ultimos cambios mercado libre Tánger:	Dólares	45.— »
	Libras	127,— »

	CAMBIOS ESPECIALES		CAMBIOS LIBRES	
	Barcelona	Bilbao	Barcelona	Bilbao
1.° Origen F. O. B. Rotterdam.	1.153'03	1.153'03	3.948'75	3.948'75
2.° Flete	145'61	138'99	349'25	333'37
3.° Seguros	4'61	2'88	15'79	9'87
4.° Aduana s/óxido.	27'20	27'20	27'20	27'20
5.° Bidones hierro (ad).	312'46	312'46	312'46	312'46
6.° Operaciones varias.	190'—	190'—	190'—	190'—
TOTAL POR TONELADA.	1.832'91	1.824'56	4.843'45	4.821'65

Los resultados anteriores comprueban que la aplicación de los cambios especiales, produce una economía de 3 ptas. en kilogramo de óxido, es decir, casi el doble de la protección arancelaria que se precisa y que su costo es, según hemos dicho, superior al precio nacional.

No sólo no es excesiva esta protección arancelaria, sino que es insignificante, puesto que la vigente no está en relación con la que se aplica al aluminio metálico. A la alúmina le corresponde 1,20 y 0,60 ptas. oro los 100 kgs., según se aplique la primera o la segunda columna, y al aluminio 248 y 83 ptas. oro, respectivamente. La desproporción es evidente, al tener en cuenta, según ya hemos dicho, que para obtener un kilogramo de aluminio se precisan dos del óxido anhidro. Es, por consiguiente, pequeñísimo el aumento que se necesita.

Si se aumenta el arancel del óxido de aluminio o alúmina en la relación que le corresponda e igualmente el de los minerales de bauxita que, en el día de hoy, casi son de importación libre, pues están incluídos en la Partida núm. 57 de «Minerales no expresados», a los que corresponde 0,30 ptas. oro por 1.000 kgs.

Con las condiciones de precios explicadas, las fábri-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cas españolas de aluminio seguirían trabajando exactamente en las mismas condiciones económicas que en el día de hoy, ya empleasen el óxido nacional o el importado, cuando el primero no pudiera abastecerlas totalmente. Se crearía una industria minera y metalúrgica que suministraría trabajo a muchos obreros de todas las profesiones; el Estado tendría un ahorro considerable de divisas y, si las circunstancias exteriores obligasen a ello, sería posible seguir fabricando el aluminio metálico exclusivamente con materias primas españolas.

CONCLUSIONES

Es indudable que en la región catalana existen importantes yacimientos de minerales bauxíticos, cuyo contenido en sílice es muy variable. Los más abundantes son, por desgracia, aquéllos en los que este contenido supera al máximo admisible para obtener, a partir de aquéllos, el hidrato de alúmina en condiciones económicas.

Otra parte, cuya cuantía no se puede precisar *a priori*, por falta de labores de reconocimiento adecuadas, es más pobre en sílice y permite ser explotada y transformada en alúmina hidratada en condiciones económicas, por los procedimientos químicos adecuados al efecto.

Como no existe dificultad técnica alguna para obtener productos de la pureza que se desee, a partir de nuestros minerales, cualquiera que sea su contenido en sílice, el único problema que se presenta para su utilización es el de los precios de coste del hidrato de alúmina y del óxido resultante de su calcinación, que son superiores a los que corresponden a los mismos productos importados del extranjero. Por consiguiente, no es posible planear esta industria, ni la explotación de las minas con el mismo fin, sin conceder a los minerales y a los productos mencionados una protección estatal.

La protección que se precisa para producir aluminio en nuestras fábricas, con los minerales españoles, no se sale de los límites de lo normal y es inferior a la concedida a otros metales. Esa protección puede consistir en la elevación de los aranceles correspondientes a la bauxita, al hidrato y al óxido; en la fijación de cambios especiales para su importación, o en ambas cosas a la vez.

El precio resultante para el aluminio fabricado en España sería inferior a la mitad del que, en el día de hoy, tienen que pagar los que necesitan esta materia prima en sus fabricaciones y que no la pueden obtener por falta de producción nacional y de metal importado.

Madrid, diciembre de 1949.

BIBLIOGRAFÍA

(1) Boletín del Instituto Geológico y Minero de España. Tomo I, 3.ª Serie, 1930. «Condiciones Geológicas de los Yacimientos Catalanes de Bauxita», P. H. Sampelayo.

(2) Minería y Metalurgia, núm. 74. «Fabricación de alúmina». Félix Aranguren.

(3) Minería y Metalurgia, núm. 81. Fabricación de alúmina con materias primas españolas», Ultano Kindelán.

(4) Técnica Metalúrgica, núm. 22. «Aprovechamiento de minerales ricos en sílice como materia prima en la preparación del metal», M. Petit Montserrat.

(5) Explicación del Mapa Geológico de la Provincia de Lérida, 1941, Almela y Ríos.

(6) Consejo Ordenador de Minerales Especiales de Interés Militar. Memorias, años 1941-1945.

(7) Consejo Ordenador de Minerales Especiales de Interés Militar. Memoria, año 1946.

(8) Consejo Ordenador de Minerales Especiales de Interés Militar. Memoria, año 1947.

(9) Consejo Ordenador de Minerales Especiales de Interés Militar. Memoria, año 1948.

(10) Estadística Minera y Metalúrgica de España, año 1948.

(11) «L'alluminio a le sue leghe», Carlo Panseri. Primer Tomo; páginas 230 y 231.

A este trabajo se han presentado las siguientes enmiendas del Sr. Aranguren, que dicen:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Dada la dispersión de los afloramientos de bauxitas y la analogía de los mismos, conviene, más que hacer una investigación de todos y cada uno de los afloramientos, concentrar la investigación sobre los más característicos y que presentan mayor posibilidad de convertirse en explotaciones industriales.

Esta proposición se justifica, además, porque no sólo está en juego la cantidad de bauxitas, sino la calidad de las mismas, y podría quizá esta consideración, por lo menos, aplazar la continuación de nuevas investigaciones.

Por otro lado, no hay que perder de vista que el tonelaje de posible consumo de bauxita es pequeño, y el costo de la investigación debe estar en armonía con esta consideración.

Por consecuencia, se propone que se hagan investigaciones urgentes y profundas sobre un limitado número de afloramientos de bauxita, de los que sean más prometedores, aplazándose hasta conocer los resultados de estas investigaciones, tanto en cantidad como en calidad, toda otra investigación complementaria, por lo menos en lo que a las bauxitas de la región Nordeste de España se refiere. En cambio, pueden dedicarse otras inversiones a otras regiones de España o sus territorios de posesiones o protectorado.

La enmienda del Sr. Castell dice que la investigación con fondos del Estado de yacimiento propiedad de una empresa privada, no debe realizarse, si no es con la colaboración económica de ella, y condicionando esta ayuda de tal manera, que la aportación estatal no se convierta en beneficio privado, exclusivamente.

Por otra parte, los yacimientos cuya investigación se propone, son todos propiedad de la Alquimia, S. A., y existen otras, a juicio del que suscribe, en mejores condiciones de explotación económica y, por tanto, entiende que la investigación debía comenzar por ellas, prescindiendo de todo interés particular.

A continuación se da lectura a la siguiente comunicación, núm. 193:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

N.º 193. - Sobre el establecimiento de las condiciones económicas necesarias para hacer posible la utilización de las bauxitas españolas y las industrias de óxido de aluminio y criolita artificial

Autor: D. ULTANO KINDELÁN DUANY
Ingeniero de Minas

Son dignas de alabanza las iniciativas presentadas en este Congreso, en sentido de realizar investigaciones en gran escala de los yacimientos españoles de minerales de aluminio, al objeto de garantizar una cubicación mínima de bauxita metalúrgica que asegure el aprovisionamiento nacional de óxido de aluminio y de criolita, justificando así la instalación de factorías del primer producto, ya que existe una de criolita artificial. Si los resultados de los reconocimientos fueran favorables, quedaría asegurada la producción nacional de aluminio, cualesquiera que fueran las contingencias que se presentasen.

Estos reconocimientos tan amplios han de ser, forzosamente, de larga duración, ya que los yacimientos bauxitíferos abarcan extensa zona, que empieza al pie de los Pirineos y termina cerca de la desembocadura del Ebro; si se espera a terminar los reconocimientos para redactar el proyecto y construir las fábricas de óxido de aluminio, habrá de transcurrir un plazo demasiado largo hasta ver convertida en realidad tan deseada independencia económica. Vale la pena considerar los medios para acortar estos plazos.

Además, existen dificultades de otro orden que, a mi juicio, constituyen el principal, si no el único obstáculo para la fabricación nacional de las primeras materias necesarias para la electrólisis de la alúmina; dificultades ajenas a las calidades y coste de los minerales, pero de tal entidad, que harían imposible, económicamente, la industria, aunque se contase con las menas más puras. Estos obstáculos son, concretamente, la falta de protección arancelaria y la de un tipo de cambio especial adecuado.

Al plantearse el problema de la fabricación de aluminio en España, se procedió con gran acierto, estableciendo, por una parte, la debida protección arancelaria, y desgravando, por otra, los aranceles de las primeras materias que para su preparación habían de importarse. Recientemente, al considerar el caso del aluminio dentro del marco de la política monetaria del Gobierno, se estableció, acertadamente, el cambio

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

especial de 22,065 pesetas-dólar para el metal de importación. Una y otra medida han hecho nacer y desarrollarse la industria del aluminio, si bien, hasta ahora, con materiales extranjeros.

Siguiendo el criterio de desgravación de las primeras materias que se importan, se aplica a la alúmina en Segunda Columna del Arancel, el tipo de 0,60 pesetas oro por 100 Kgs., lo que contrasta con el de 60 pesetas de la partida general de Productos Químicos, no obstante ser el óxido de aluminio un producto de delicada praparación, al que se exige gran pureza. En el mismo orden de ideas, el cambio especial de alúmina de importación es sólo de 18,912 pesetas por dólar.

Nada hay que objetar a todo ello en las circunstancias presentes en lo que se refiere al óxido, ya que la criolita, entiendo, se produce ya en España; pero no será posible mantener este criterio si se quiere que haya producción nacional de aquél, pues sería imposible mantener la competencia con el extranjero, donde tienen a su favor los costes más reducidos de las primeras materias (sosa, carbón, energía) y efectos, probablemente, bauxitas selectas y, sobre todo, la economía que supone el trabajo en grandes factorías, ya que en España, por desgracia, no contamos con capacidad de absorción para trabajar en esa escala.

Sobre todo ello hay que añadir que se les otorga la prima sobre la producción española de fijarles un cambio, excepcional en los productos químicos, muy por bajo del real, lo que permitiría al extranjero ofrecer la alúmina a un precio que sería de ruina para la producción nacional, sin contar con que pueden forzar aún más tal precio, ya que su gran producción en relación con nuestro consumo los pone en condiciones de establecer «dumping».

Aunque ello no tenga tanta importancia, conviene mencionar que algo análogo ocurre con la bauxita, cuyo arancel es de 0,30 pesetas oro los 100 Kgs.; ello favorece la fabricación de derivados con bauxitas extranjeras, con perjuicio de la minería española y de la independencia económica que deseamos. El caolín, producto de menos valor comercial que la bauxita, tiene una protección de 1,65 pesetas oro los 100 Kgs. para evitar el consumo de caolín de importación; lógicamente debe hacerse algo parecido con la bauxita, y esto de manera inmediata, pues ya existe un consumo importante para refractarios, abrasivos y cementos.

Pudieran considerarse extemporáneas estas afirmaciones, aunque se acepte el principio, ya que no existe en el día producción de alúmina en la escala necesaria, pero, aparte de que el problema es de actualidad, en los casos de la criolita y de las bauxitas no metalúrgicas, el establecimiento de una protección arancelaria y de cambio para el óxido de aluminio, no debe demorarse, porque decidiría a la industria privada a lanzarse de lleno en el camino ya iniciado de su fabricación en gran escala, sin el temor de ser desplazados por la competencia extranjera, pues existen grupos financieros y técnicos que no sienten dudas ni preocupaciones sobre la existencia de bauxita en cantidad suficiente para cubrir las necesidades de todo orden.

Cúmpleme aquí consignar la gratitud que se debe al competente e incansable geólogo Sr. Closas, quien, trabajando desde la sombra y sin ostentación, pero con ejemplar perseverancia, ha sido el primero en señalar la serie de afloramientos existentes en la zona Subpirenaica, lo que con todo desinterés ha mostrado a técnicos y geólogos, sirviéndoles de certera guía, gracias a lo cual ha podido comprobarse la existencia de un manto de bauxita de muchos kilómetros de corrida.

Si se llevara a la realidad esta protección, aunque se difiriera su aplicación hasta que hubiese producción nacional, se emprendería, desde ahora, la instalación de la factoría, la cual estaría en funcionamiento antes de terminarse los reconocimientos.

No se crea que la protección que se necesita es extraordinaria; bastaría, desde luego, con los tipos de cambio especial señalados para los productos químicos y para el mismo aluminio metal. En cuanto al tipo de arancel bastaría que fuera proporcional al del aluminio; como en la producción internacional de aluminio, la alúmina influye en el 40 % del coste del metal, la protección arancelaria podría ser de ese orden; esto es, el 40 % de la del aluminio.

Naturalmente, habrían de retocarse los escandallos del aluminio, cuyo precio habría de sufrir elevación, si bien ésta sería moderada, porque es de esperar que, cuando se pongan en vigor estas medidas, las nuevas instalaciones podrán suministrar energía más barata que la que se consume hoy en la electrólisis de la

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

alúmina, que rebasa con mucho la que puede tolerar la industria electroquímica, compensando el aumento de escandallo, al menos, parcialmente.

Estas son las razones que me mueven a someter a la consideración del Congreso, la necesidad de que, como complemento al plan de reconocimientos en gran escala de los minerales de aluminio, se establezca para ellos una protección arancelaria del mismo orden que la del aluminio, habida cuenta la relación de precios. La aplicación de estas medidas se diferirá en lo que se refiere al óxido de aluminio, hasta cuando exista producción considerable del mismo.

CONCLUSIÓN

Se propone que se aplique a las importaciones de bauxita, de óxido de aluminio y de criolita el mismo cambio especial fijado para el aluminio y que los tipos de protección arancelaria para dichos productos, en relación con sus precios respectivos, sean los que existen, en el caso del metal.

Estas medidas no empezarán, sin embargo, para el óxido de aluminio y la criolita, hasta que haya producción considerable de los mismos.

Madrid, 8 de abril de 1950.

Sin observaciones sobre este trabajo, se pasa al siguiente del mismo autor, número 194:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

N.º 194. - Enriquecimiento de minerales de bauxita españoles y beneficio de las bauxitas blancas

Autor: D. ULTANO KINDELÁN DUANY
Ingeniero de Minas

BENEFICIO DE LAS BAUXITAS POR MÉTODOS ALCALINOS

No basta que un mineral de aluminio tenga alto contenido en metal para obtener buen rendimiento, pues, como es sabido, el método Bayer para la fabricación de alúmina, exige un límite máximo de contenido de sílice para que dé resultados económicos y, como dicho método es, hasta el presente, universalmente usado, es lógico que se desprecien los minerales al aumentar su ley en sílice, aunque sean ricos en alúmina.

El método Bayer consiste, en esencia, en la extracción de la alúmina de la bauxita, tratándola en autoclave con lejía de sosa. Así se forma aluminato sódico, soluble, que se separa por filtración de los residuos sólidos, sílice, óxidos de hierro y de titano formando una masa que se designa con el nombre de «barros» rojos»; por último, se provoca el desdoblamiento del aluminato, con precipitación parcial de hidrato de alúmina, el que, calcinado a 1.300º da el óxido de aluminio apto para la electrólisis.

Entre otras reacciones perturbadoras hay que señalar la formación de la sal doble silicato alumínico-sódico de fórmula $Al_2 0_3 Na_2 0\ 3SI_2 0_2\ 9H_2 0$, insoluble que queda en los barros rojos y, con él, cierta cantidad de alúmina y de sosa disueltas. Teóricamente se pierde por cada Kg. de sílicie 0,850 de óxido de aluminio y 0,45 de sosa cáustica; en la práctica se admite una pérdida de cada uno de estos últimos igual al contenido en sílice, cuando éste no es grande, si bien la pérdida es mayor al aumentar la sílice a altas cifras, entre otras causas por la cantidad elevada de líquido retenido en el residuo que con independencia del hierro que contenga, se hace naturalmente mayor.

Por esta causa se han admitido hasta ahora como aptos para el tratamiento Bayer, los minerales de 4 % de contenido en sílice. En estas condiciones se obtiene, para una bauxita de 55 % de $Al_2 0_3$ un rendimiento de 90 %. Se necesitan, aproximadamente, dos toneladas de bauxita para obtener una de óxido.

Hoy día la industria ha de producir cantidades de aluminato cada vez mayores por lo que no bastan para ello las mermadas reservas de bauxita de alta calidad, por lo que los técnicos ingleses y americanos se preo-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

cupan de investigar procedimientos para utilizar minerales menos selectos, incluso caolines, arcillas y escorias, y proponen para su beneficio una infinidad de medios.

Nosotros, españoles, contamos con abundantes bauxitas, si bien en escasa proporción de la alta calidad indicada, pero con relativa abundancia, cuyo contenido en sílice es lo suficientemente bajo para aplicarles económicamente el método Bayer, como veremos después; existe, además, otra parte mayor que puede utilizarse empleando la recuperación de lodos del Bayer.

Los recargos que se originan por el mayor contenido de sílice de la bauxita en los costes del óxido de aluminio, dependen de los precios de las primeras materias, mano de obra y servicios; para las cotizaciones normales en España puede calcularse que, a igual contenido de $Al_2 0_3$, en el mineral, el coste del óxido cuando éste contenga 20 % de sílice, sería más del doble que si tuviera el 4 %. El procedimiento Bayer simple no sería, pues, factible económicamente.

En cambio, si se parte de un mineral de 10 % de sílice, el coste del óxido sólo se elevaría en un 30 %, razón por la cual puede considerarse útil para su beneficio por el método Bayer simple, este tipo de mineral.

La explotación de bauxita en nuestro país es incipiente, ya que la única formación que se explota con relativa intensidad es la central de Cataluña, en el límite de las provincias de Barcelona y de Tarragona que, probablemente, será la de menos extensión. En estas minas se obtiene un 40 % de mineral de menos de 10 %; el resto se vende para su empleo en materiales refractarios o se tira a la escombrera.

En las otras cuencas, puede admitirse, por los datos obtenidos y con las debidas reservas, que la proporción de este tipo de mineral sería menor. Puede cifrarse provisionalmente, en 30 %. Los reconocimientos de la zona Sub-pirenaica, aclaran si existen o no las grandes masas de bauxita que se supone y las calidades de éstas.

Si tales reconocimientos pusieran de manifiesto que la cubicación de mineral con menos de 10 % es insuficiente para el abastecimiento nacional durante un tiempo razonable, es evidente que habrían de utilizarse, además, bauxistas más ricas en sílice en proceso separado, por procedimientos siempre alcalinos, pero adaptados a esta composición mineralógica. Pero, aun en el caso más favorable de aparecer aquellos minerales en cantidad suficiente, pero mezclados con otros más ricos en sílice, habría que proceder de igual manera, pues el coste de explotación sería elevado si sólo se utilizase el 30 % del mineral arrancado.

Consideremos, pues, la utilización del mineral cuyo contenido en sílice pasa del 10 % sin llegar al 20 %; en este caso la aplicación del método Bayer simple es prohibitiva, pues buena parte de la alúmina y de la sosa de la reacción se perderían en los lodos rojos en forma de silicato doble; una y otra pueden recuperarse parcialmente.

SINTERIZACIÓN CON CAL SOSA

Consiste este método de recuperación en añadir a los fangos rojos carbonato sódico y caliza en proporciones adecuadas y someter la mezcla, en horno rotativo análogo a los de fabricación de «clinker», a temperatura de 1.100°, con formación de aluminato sódico y sosa libre, que se disuelven en agua después de molidos, se separan por filtración y se incorporan disueltos a la planta Bayer.

Si se parte de una bauxita de 20 % de sílice, 58 % de $Al_2 0_3$ y 12 % de $Fe_2 0_3$, se extraerá de ella solamente la mitad de la alúmina, aplicando el método Bayer. El resto se pierde en los fangos rojos, cuya composición centesimal podría ser:

$Al_2 0_3$ — 30 %; $Si 0_2$ — 20 %; $Fe_2 0_3$ — 15 %; $Na_2 0$ — 15 %, agua 10 %.

La saturación de la sílice exige una adición de cal doble en peso que el de ésta, y la formación de aluminato sódico, en medio alcalino, requiere añadir la mitad de sosa que el peso de alúmina. Además, se necesitan 300 Kgs. de carbón por tonelada de «clinker».

Se recupera así el 90 % de la alúmina y sosa (incluso la añadida en forma de carbonato), mediante el gasto de cal, carbón, energía y mano de obra.

La experiencia obtenida en Inglaterra, Alemania y Norteamérica, permite admitir un sobrecosto total del 40 % sobre el obtenido con mineral de 10 % de sílice, pero, en cambio, se lograría un aprovechamiento casi integral de las bauxitas.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

PREPARACIÓN MECÁNICA DE LOS MINERALES BAUXITÍFEROS

Lo expuesto anteriormente pone de manifiesto que conviene clasificar el mineral arrancado en tres categorías: De menos de 10 % de sílice; de más de 10 % y menos de 20 %, y una tercera clase para su aplicación a productos refractarios, con mayor riqueza en sílice.

Prescindiendo de esta última clase, es evidente que conviene obtener mayor proporción de la primera que de la segunda, cuyo costo de tratamiento es un 40 % mayor. Esta selección se hace hoy día sin dificultad, por estrío, en las clases de determinado tamaño, pues el obrero distingue por su aspecto externo una y otra clase de mineral, pero esto sólo es aplicable a los tamaños de más de 30 mm.; los tamaños menores se tiran a la escombrera.

Se impone, pues, agotar los recursos técnicos para lograr la clasificación de estos mixtos, examinando primeramente la posibilidad de hacerlo por métodos de gravedad.

Indudablemente, la constitución de las bauxitas se presta mal a la separación gravimétrica, ya que el estado coloidal en que aparecen sus tres componentes esenciales, sílice e hidratos de alúmina y férrico, hace imposible el aislamiento de éstos fuera de la vía química.

Pero, si es imposible este aislamiento, cabe, al menos, teóricamente, lograr una separación de mixtos relativamente bajos en sílice de otros que no lo son, y ello, gracias a un hecho empírico que nos brinda la experiencia. Éste consiste en que las proporciones de hidrato férrico y de sílice en el mineral son inversas; esto es, que una bauxita blanca, pobre en óxido de hierro, es rica en sílice, salvo raras excepciones y, por el contrario, las bauxitas rojas con ley normal en alúminas y altas en hierro, son pobres en sílice.

No ha llegado a mi conocimiento la explicación racional de este fenómeno. Podría, tal vez, explicarse siguiendo la línea genealógica de las bauxitas:

Primera fase: Caolinización de rocas eruptivas o descalcificación de las calizas por los agentes atmosféricos.

Segunda fase: Laterización con formación sucesiva de hidrosilicato alumínico y descomposición de éste por los álcalis, en épocas geológicas en las que sus características termo-químicas lo determinan.

Tercera fase: Descomposición por el ácido carbónico de la atmósfera de los aluminatos alcalinos formados en la segunda fase, de modo que queden alúmina fuertemente hidratada y sílice en estado coloidal, que se separa parcialmente por arrastre de las aguas.

El hidrato férrico cuando existe en la arcilla originaria, queda al margen de todas estas reacciones, salvo su tendencia a deshidratarse, pero su existencia en ella debe influir por acción catalítica o por otra causa, en la separación de la sílice.

Sea cual fuere la causa, prescindiendo de las impurezas de la bauxita y limitándonos a considerar los tres componentes principales: alúmina, hidrato férrico y sílice, cuyas densidades en estado anhidro son 3,7, 5.1 y 2,4, es claro que para un tipo de riqueza en alúmina el mineral de bajo contenido en sílice y, por lo dicho, alto en hierro ha de tener mayor densidad que el alto de sílice. En particular, una bauxita de 58 % de $Al_2 0_3$ y 10 % de sílice, tendría densidad 3,53 contra 3,25 de la de 20 %; es decir, una diferencia relativa de densidad de 8,5 %.

Teniendo en cuenta que para el beneficio del mineral hay que molturarlo finamente, hay que eliminar el gasto que ello ocasione del coste de concentración, con lo que se logra liberar los distintos tipos de mixtos, sin sobrecoste, pues ya sólo queda concentrarlos por isodromia, con probabilidades de buen éxito, pues, al ser los minerales de poca densidad, el margen de éstas, en inversión, sería de 12,5 %.

Las consideraciones apuntadas aconsejan que se hagan ensayos semi industriales con la finalidad de conseguir la separación, por gravedad, de los dos tipos de mena y la eliminación de los más altos en sílice de 20 % que ha de ser más fácil, al ser mayor el margen diferencial de densidades.

CONCENTRACIÓN POR FLOTACIÓN

Ya se ha indicado que, para el tratamiento Bayer, ha de pulverizarse finamente el mineral (150 a 200 mallas); este es el grado que exige la flotación. Aunque los procedimientos de flotación no están indicados para minerales útiles de tan poco valor como la bauxita, el hecho de no contar la molienda, la operación más cara

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

del tratamiento, hace concebir esperanzas de que el método sea aplicable a nuestro caso.

No tengo conocimiento de que exista una instalación industrial de flotación de bauxita, aunque sí de los estudios que en este sentido se hacen en el extranjero. No obstante, habría base teórica para separar los hidratos de hierro y de alúmina de la sílice, ya que las moléculas de los primeros son polares y se hidratan fácilmente y, en cambio, la sílice tiene débil polaridad, aunque, en la práctica, tienda algo a la hidratación, por lo que se precisa el empleo de activadores salinos. Se concibe así que pueda lograrse la separación de la sílice.

Ahora bien, como queda dicho, los elementos integrantes de la bauxita se presentan en estado coloidal, lo que hace imposible la eliminación de la sílice, con lo cual bajará el contenido en este cuerpo de la masa restante.

Asi, en Mozambique, se ha obtenido el resultado siguiente, empleando como activador sulfato de cobre:

	Entrada	Productos
$Al_2 O_3$	48	56
$Si O_2$	12.6	8.5
$Fe_2 O_3$	11.6	10

Si se logra reducir en sólo 4 % el contenido en sílice de las bauxitas españolas, sería inmenso el tonelaje disponible para el procedimiento Bayer.

En resumen, sería interesante también ensayar por esta vía la manera de obtener mayor cantidad de minerales en buenas condiciones para su beneficio por el método Bayer.

Tanto los estudios para procedimientos gravimétricos como para los de flotación, podrían hacerse en el laboratorio que para este fin existe en el Instituto Geológico y Minero de España, para que, con las enseñanzas en él obtenidas, se proyecte una instalación semi industrial.

BENEFICIO DE LAS BAUXITAS BLANCAS

Queda indicado que las bauxitas blancas no pueden ser beneficiadas por métodos alcalinos, a causa de su gran contenido en sílice. Sin embargo, su alto contenido en alúmina hace interesante el estudio de su utilización, ya que existen grandes cantidades de este tipo de mineral, especialmente, en el Sur de la provincia de Tarragona.

Dejando aparte los procedimientos térmicos, que se basan en la eliminación de la sílice por escorificación con cal, los cuales requieren grandes y costosas instalaciones y el empleo de fuertes proporciones de coque, tan escaso y caro en nuestro país; prescindiendo también de mencionar otros procedimientos por vía húmeda, vamos a concretarnos al examen de la posibilidad económica del procedimiento a base de extraer la alúmina del mineral por medio del ácido sulfúrico.

Este método no es económicamente aconsejable, a menos que las circunstancias permitan recuperar de algún modo el ácido sulfúrico empleado. A mi juicio, estas circunstancias se dan en España, donde están próximas a funcionar varias factorías de abonos nitrogenados, las cuales necesitan grandes cantidades de ácido sulfúrico para saturar el amoníaco; si se consigue que el ácido sulfúrico que se emplea para disolver el mineral bauxitífero, quede en definitiva fijado con amoníaco, la recuperación será efectiva. El esquema del sistema sería:

Primera fase: Tratamiento en autoclave de la bauxita con ácido sulfúrico; pase a disolución del hierro y de la alúmina y cal en forma de sulfato; separación por filtración de la mayor parte de la sílice y del óxido de titano.

Segunda fase: Precipitación con amoníaco gaseoso de los hidratos de alúmina y hierro, y filtración, para separar el sulfato amónico disuelto, de los hidratos.

Tercera fase: Cristalización del sulfato amónico.

Cuarta fase: Tratamiento alcalino ordinario de los hidratos de alúmina y de hierro.

Los productos obtenidos serían: sílice separada del óxido de titano, óxido de hierro y alúmina.

Este sistema se ha ensayado en laboratorio y en mayor escala en España; los inconvenientes con que se ha tropezado radican en la segunda fase, a causa de lo voluminosos de los precipitados de hidratos de hierro y de aluminio, que dificultan la filtración y, sobre todo, el lavado. Resulta así que la masa precipitada retiene trece veces su peso en agua y la disolución de sulfato amónico resulta diluída en extremo para que aquél cristalice. Es imprescindible evaporar, en ambos casos, el exceso de agua, y esto requiere elevado consumo de carbón.

Este mal se aminora empleando bauxitas blancas con escasa proporción de hierro, con lo que el precipitado

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

es principalmente de alúmina y, por lo tanto, más reducido. Las circunstancias locales determinarían la conveniencia de llevar las bauxitas a la factoría de amoníaco, o si, por el contrario, procede llevar este producto en forma líquida en vagones-cisternas a la fábrica de alúmina.

Falta, para poner a punto el sistema, continuar los estudios en escala semi industrial, resolver primero el problema de lograr la precipitación de los hidratos en forma compacta o pulverulenta y operar en las condiciones químicas, térmicas y mecánicas apropiadas a este fin.

CONCLUSIONES

Se propone se realicen en el Laboratorio de Preparación Mecánica de Minerales del Instituto Geológico y Minero de España, ensayos de separación de minerales de bauxita bajos en sílice, de los de medio y alto contenido en este cuerpo.

1.º Por método de gravedad, fundándose en el hecho, explicado en la Memoria adjunta, de ser la densidad de las bauxitas, tanto más alta cuanto más bajo es su contenido en sílice.

2.º Por flotación, fundándose en la fuerte polaridad de los hidratos de alúmina y de hierro y la escasa de la sílice.

Si las enseñanzas de estos estudios dieran alguna orientación, se construirá una planta-piloto de las características que la experiencia aconseje.

Igualmente, se propone se realicen ensayos semi industriales, previos los precisos de laboratorio, para el beneficio de las bauxitas blancas mediante la extracción de la alúmina con ácido sulfúrico, recuperando éste en forma de sulfato amónico, con el amoníaco gaseoso que se emplea para separar los hidratos.

Muy especialmente se estudiará la forma de lograr precipitados de éstos, compactos y pulverulentos y no voluminosos, que, al retener excesiva cantidad de agua y, exigir, además, mucha cantidad de este líqulido para su perfecto lavado, obligan a evaporar el exceso, encareciendo el sistema por el carbón que consume.

Madrid, 8 de abril de 1950.

Finalizada la lectura de este trabajo, sin observaciones, se pasa a la del siguiente, núm. 271:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

N.º 271. - La variabilidad de las presiones atmosféricas sobre España

Autor: D. JOSÉ M.ª LORENTE PÉREZ
Metereólogo

Las pertinaces sequías que ha padecido España —y gran parte de Europa— durante los años 1944, 1945, 1948, 1949 y durante el primer cuatrimestre de lo que va de 1950 han producido grandes perjuicios a todos los que dependen de la Agricultura, de la Industria o del suministro general de agua; en resumen, a todos los habitantes de nuestra nación, pues nadie deja de tener relación directa o indirecta con los productos del campo y de la industria, así como con la economía general del país.

Aunque en el presente mes de mayo parece que la atmósfera va cambiando de tendencia y a la de sequía anterior va sucediendo otra de lluvias, sin embargo, es todavía muy recelosa la opinión general de que se pueda volver a la angustiosa falta de lluvias que hemos pasado. Por eso, conviene presentar aquí algunas consideraciones acerca de la marcha y desarrollo de las series estadísticas pluviométricas para examinar si ofrecen indicios de cambio, o si, por el contrario, amenazan con obstinada insistencia de sequedad.

Para ello se compendian en este trabajo algunas de las investigaciones que hemos podido ir realizando acerca del tema en los últimos años, y a la vez se exponen algunas de las teorías que para explicar la sequía se han dado en diversos países.

Como fundamento de este trabajo se han tomado las catorce series de observaciones pluviométricas más largas de que disponemos en España. Son las correspondientes a las siguientes poblaciones, citadas en el orden de la mayor antigüedad de creación (expresada entre paréntesis): San Fernando (Cádiz) (1841), Madrid (1841), Alicante (1856), Valladolid, Barcelona, Valencia y Sevilla (1858), Huesca, Murcia, Badajoz y Sevilla (1862), La Coruña (1877), San Sebastián (1878) y Tortosa (Tarragona) (1880). No todas estas series están completas hasta 1880. Así que puede decirse que este año es el que debe tomarse como inicial para un estudio paralelo de todas ellas (Véase cuadro núm. 1).

Hay que añadir que la serie de datos —datos mensuales— de estas catorce series necesitarían ser sometidos a crítica muy severa para que pudieran ser aceptados como fundamentales para un estudio estadístico y para servir de término de comparación con otras series más cortas que, con las largas, se pudieran homo-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

geneizar, pues hay que tener en cuenta que las observaciones pluviométricas citadas como básicas han sido tomadas en varios sitios de la misma población, con diferentes modelos de aparatos, situados en variados emplazamientos y por observadores que se han ido sucediendo y que no han mantenido siempre el mismo criterio en las mediciones realizadas ni una tensa escrupulosidad en ellas. Pero, como es imposible, de momento, ni intentar siquiera una crítica de las series de observaciones existentes y son únicas, a ellas hay que tenerse de modo provisional, que bien puede aceptarse que en trabajos de conjunto los errores menudos que-

CUADRO I

LLUVIAS ANUALES (en mm.)

Años	La Coruña	S. Sebastián	Huesca	Valladolid	Soria	Badajoz	MADRID	Barcelona	Tortosa	Valencia	Alicante	Murcia	Sevilla	S. Fernando
1841							493							349
1842														378
1843							601							734
1844														623
1845							448							762
														2.846
1846							526							415
1847														633
1848														534
1849														450
1850														333
														2.365
1851														302
1852														452
1853														777
1854							391							461
1855							589							1.262
														3.254
1856							336				370			706
1857							386				641			510
1858					545		231	544		539	634		664	826
1859					523		363				175		733	550
1860							301	513			456			638
							1.617				2.266			3.230
1861							373	620			332			736
1862				477	412	490	601	844		838	430	156	742	690
1863				414	223	472	317	425			503	487	719	442
1864				627	376	510	505	446		636	508	577	456	1.099
1865				744	387	715	517	799		683	283 (?)	260	405	850
							2.112	3.134			2.056			3.817
1866				733	382	850	490	619			422	354	312	341 (?)	861
1867				691	393	598	378	418			572	395	302	410 (?)	933
1868				488	208	650	339	560			266	364	285	333 (?)	938
1869				364	226	667	258	417			259	422	343	196	558
1870				430	273	510	335	559			715	673	418	286 (?)	950
				2.706	1.482	3.275	1.799	2.573			2.234	2.208	1.660	1.566	4.240
1871				822	366	667	419	737			420	659	481	317 (?)	1.237
1872				858	259	593	384	975			330	418	320	369 (?)	1.160
1873				467	233	425	319	436			364	605	373	256 (?)	725
1874				627	323	866	328	516			476	440	237	159 (?)	649
1875				443	141	510	285	894			336	506	276	295 (?)	662
				3.217	1.321	2.701	1.755	3.558			1.926	2.428	1.687	1.396	4.433
1876				515	378	549	393	573			328	456	332	668	623
1877	1.004			503	441	800	431	298			259	499 (?)	361	455 (?)	443
1878	1.078	1.660		350	240 (?)	722	381	272			189	202	194	550 (?)	448
1879	1.263	1.712		722	311 (?)	869	392	592			363	287	205	680 (?)	843
1880	804	1.126		563	322	621	458	422	555		509	227	267	371 (?)	591
				2.713	1.692	3.561	2.055	2.157			1.648	1.671	1.359	2.724	2.948
1881	921	1.221		659	421	748	600	461	512	453	481	277	436	880	1.182
1882	808	1.530		478	295	776	308	360	471	384	423	246	336	252	389
1883	871	1.514		495	242	781	516	423	438	469	439	140	297	603	895
1884	667	1.216		804	311	400	511	515	569	1.041	1.288	654	765	336	591
1885	1.145	1.485		692	366	570	719	698	435	595	687	245	378 (?)	817	705
	4.4.2	6.966		3.128	1.605	2.775	2.654	2.457	2.425	2.942	3.300	1.522	2.232	2.888	3.762
1886	1.248	1.562		599	404	643	501	598	300	414	400	179	294	408	481
1887	784	1.430		478	236	541	604	455	416	581	676	324	588	618	634
1888	1.064	1.310		674	417	598	497	621	524	551	478	276	571	728	894
1889	934	1.801		824	325	583	334	372	445	335	348	165	324	473	419
1890	830	1.421		563	206	322	361	383	625	705	578	177	571	503	751
	4.860	7.514		3.138	1.588	2.687	2.297	2.429	2.310	2.596	2.460	1.121	2.348	2.730	3.178
1891	707	1.066		586	343	343	384	375	625	699	681	184	426	662	688
1892	843	1.356		714	374	559	580	433	443	451	541	155	354	714 ?	869
1893	632	1.364		284	342	490	473	517	407	453	347	215	251	648	522
1894	555	1.127		271	270 (?	672 (?)	374 (?)	482	510	548	700	513	568	746	625
1895	978	1.406		473	399	686	1.118	616	410	401	482	580	445	1.603	958
	3.715	6.319		2.328	1.728	2.559	2.929	2.443	2.395	2.562	2.751	1.647	2.044	4.373	3.662
1896	523	1.571		402	267	381	479	319	625	303	338	328	273	405	400
1897	646	1.286		431	277	428	396 (?	509	642	732	824	488	273	616	636
1898	506	1.202		488	270	409	500 (?	285	612	493	655	449	318	343	712
1899	605	937		473	328	421	449	384	504	359	332	368	317	528	535
1900	682 (?)	1.675		523	412	615	459 (?	313	575	331	376	554	443 (?)	657 (?)	625
	2.962	6.717		2.321	1.554	2.274	2.083	1.810	2.978	2.222	2.545	2.187	1.634	2.549	2.909

Años	La Coruña	S. Sebastián	Huesca	Valladolid	Soria	Badajoz	MADRID	Barcelona	Tortosa	Valencia	Alicante	Murcia	Sevilla	S. Fernando
1901	506	1.117	463	436	749	703	467	878	704	534	482	420	484	630
1902	416	925	777	584	687	726	544	573	467	468	306	296	740	716
1903	618 ?	1.288	347	484	479	608	599	408	387	291	398	250	357	443
1904	492	1.007	435	495	520	614	528	362	476	534	448	305	500	522
1905	608	1.093	521	311	571	584	388	455	339	326	529	273	400	423
	2.640	5.389	2.544	2.332	3.006	3.235	2.225	2.676	2.373	2.153	2.123	1.543	2.481	2.734
1906	457	1.187	355	334	540	788	492	588	507	661	670	458	370	415
1907	622	1.259	482	358	454	914	350	715	597	386	335	196	438	546
1908	359	1.265	441	312	643	592	400	531	680	581	514	141	471	449
1909	693	1.098	297	419	526	745	451	474	481	403	234	274	705	701
1910	835	1.590	450	395	562	801	381	476	398	224	293	292	517	460
	2.956	6.399	2.025	1.816	2.755	3.840	2.075	2.784	2.663	2.255	2.046	1.641	2.501	2.571
1911	529	996	575	401	582	775	512	433	544	414	243	169	623	569
1912	658	894	327	364	465	482	349	379	269	352	385	190	441	457
1913	716	1.204	617	419	671	482	342	526	558	294	129	103	627	568
1914	700	1.056	451	355	510	431	447	628	508	405	511	385	545	522
1915	1.009	1.121	698	470	830	462	410	791	631	497	479	293	596	712
	3.612	5.271	2.707	2.009	3.068	2.612	2.109	2.758	2.500	1.962	1.747	1.140	2.832	2.828
1916	1.077	670	492	440	634	412	426	621	305	273	324	345	807	415
1917	774	1.517	513	232	483	360	354	603	457	397	195	252	544	505
1918	894	1.478	375	316	416	545	307	747	641	686	372	279	521	413
1919	1.091	1.569	729	457	768	432	510	604	602	580	400	272	726	764
1920	839	1.074	456	273	590	495	450	997	527	569	281	305	559	562
	4.675	6.305	2.566	1.717	2.889	2.243	2.046	3.661	2.532	2.505	1.576	1.452	3.157	2.659
1921	600	925	434	391	420	441	426	790	754	335	287	335	406	373
1922	1.051	1.953	578	300	576	367	418	570	444	464	364	308	507	465
1923	875	3.006	411	396	630	407	349	467	270	212	213	389	549	501
1924	915	1.550	407	445	455	466	392	465	315	499	192	277	605	618
1925	1.106	1.511	348	448	486	496	431	514	281	293	325	139	569	474
	4.547	8.944	2.178	1.895	2.566	2.176	2.016	2.805	2.064	1.803	1.381	1.449	2.726	2.431
1926	903	1.179	534	525	543	392	404	591	525	299	256	152	588	439
1927	1.111	1.903	658	505	579	454	448	461	469	314	194	218	689	562
1928	1.092	1.562	397	448	488	504	425	589	385	311	253	199	620	538
1929	934	1.354	395	474	435	319	372	423	493	509	398	239	390	372
1930	1.218	1.738	539	494	653	407	458	577	503	205	198	331	621	712
	5.258	7.735	2.523	2.447	2.691	2.076	2.107	2.640	2.376	1.638	1.299	1.140	2.908	2.628
1931	998	1.690	400	394	457	354	320	625	299	222	355	276	511	484
1932	1.315	1.320	747	415	601	522	400	779	851	927	378	232	705	609
1933	1.123	1.656	548	406	521	351	385	640	785	985	369	389	639	786
1934	981	1.099	589	472	549	372	328	429	263	249	245	221	450 (?)	375 (?
1935	869	1.524	980	364	548	403	406	531	131	381	159	205	375	313
	5.287	7.288	3.263	2.051	2.677	2.001	1.838	3.004	1.489	2.364	1.506	1.323	2.680	2.567
1936	620	1.421	1.191	729	747	601	609 (?)	614	903	1.020	239	200	935	816
1937	894	1.603	784	666	539	611	470 (?)	431	581	260	122	119	600 (?)	608
1938	641	1.449	508	306	543	368	293 (?)	611	472	439	314	238	639	410
1939	701	1.624	431	519	530	644	431 (?)	561	732	294	173	206	770	688
1940	729	1.828	558	491	653	581	512	427	692	294	342	218	512	625
	3.584	7.924	3.473	2.711	3.011	2.836	2.314	2.704	3.380	2.307	1.190	981	3.133	3.157
1941	791	1.695	547	507	784	635	508	569	558	402	314	199	727	717
1942	899	1.775	751	400	554	494	523	614	477	342	299	331	584	739
1943	1.024	1.658	589	481	540	432	425	750	832	365	395	350	570	387
1944	890	1.448	380	229	423	315	407	628	348	383	276	263	398	436
1945	1.043	1.294	476	262	445	358	302	373	436	188	282	88	479	475
	4.647	7.869	2.743	1.880	2.746	2.233	2.164	2.944	2.641	1.680	1.566	1.231	1.558	2.754
1946	1.114	1.243	508	327	483	355	323	588	743	524	443	471	535	640
1947	1.086	1.257	529	483	838	602	614	390	565	342	299	317	755	667
1948	1.059	1.100	379	317	471	454	327	623	364	482	396	516	566	580
1949														
1950														

dan un tanto disimulados y embebidos en la masa general.

También se aprovechan las series de observaciones pluviométricas de Gibraltar y de Lisboa como auxiliares de las nuestras. De estas dos, la de Gibraltar es la más antigua de la Península Ibérica, pues desde su ocupación definitiva por los ingleses, en 1783, y aun antes, en los sitios que sufrió, por no tener otra agua disponible que la de lluvia recogida en aljibes al modo andaluz, sintió la viva necesidad de medir con escrupuloso cuidado la que caía de cada año desde un verano a otro. Por eso, se conservan datos de esas cantidades anuales desde 1791 hasta 1849 y, mes por mes, desde 1850, o sea, desde hace el siglo y medio.

Para poder comparar entre sí y a simple vista estas catorce series pluviométricas españolas se han presentado de un modo gráfico en uno de conjunto (véase al final) pero agrupando las precipitaciones atmosféricas de cada estación en sumas de las de cinco años, suavi-

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

zando así las curvas representativas de esas series. Están dispuestos los gráficos por orden descendente de latitud.

Examinándolos uno a uno se obtienen, inmediatamente, las siguientes conclusiones:

1.ª La Coruña y San Sebastián han sido las estaciones que han presentado desde 1881 las más exageradas oscilaciones. Las siguen en variabilidad, Sevilla y San Fernando, pero, con una diferencia de estas últimas con respecto a las dos primeras: la de que en Andalucía las oscilaciones grandes ocurrieron en los años del siglo pasado, pero no en el actual, mientras que en las del Cantábrico han sucedido también en éste.

2.ª Valencia y Alicante han tenido bastante oscilación, pero no tantas como las antes citadas poblaciones.

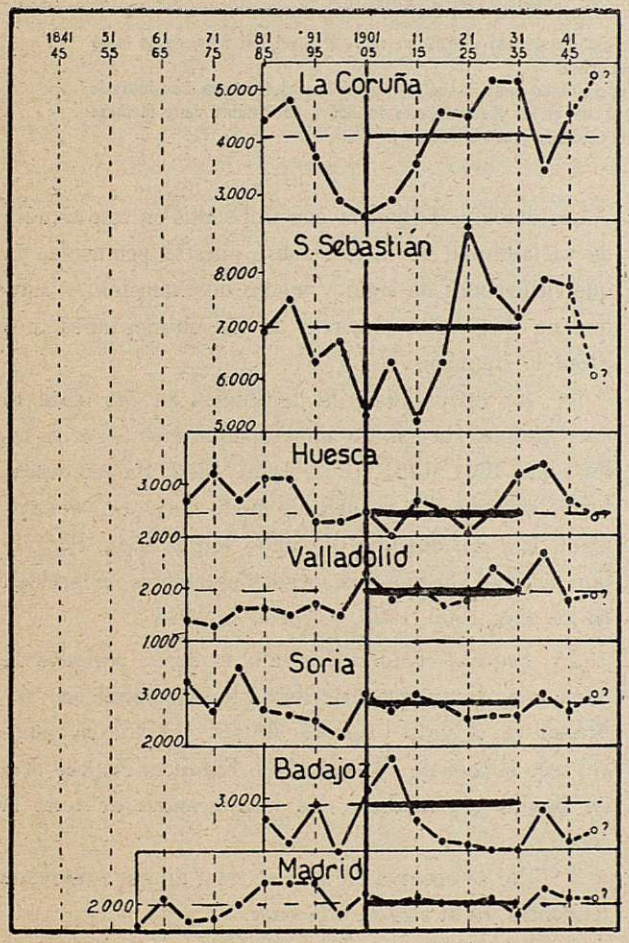
3.ª Las del interior de la Península no ofrecen cambios muy notables, salvo Badajoz.

4.ª En las curvas de Valencia, Alicante, Murcia, Sevilla y San Fernando parece que se venía notando tendencia general descendente, corregida en los últimos años. También se manifestaba ya esa misma tendencia en Soria y en Badajoz.

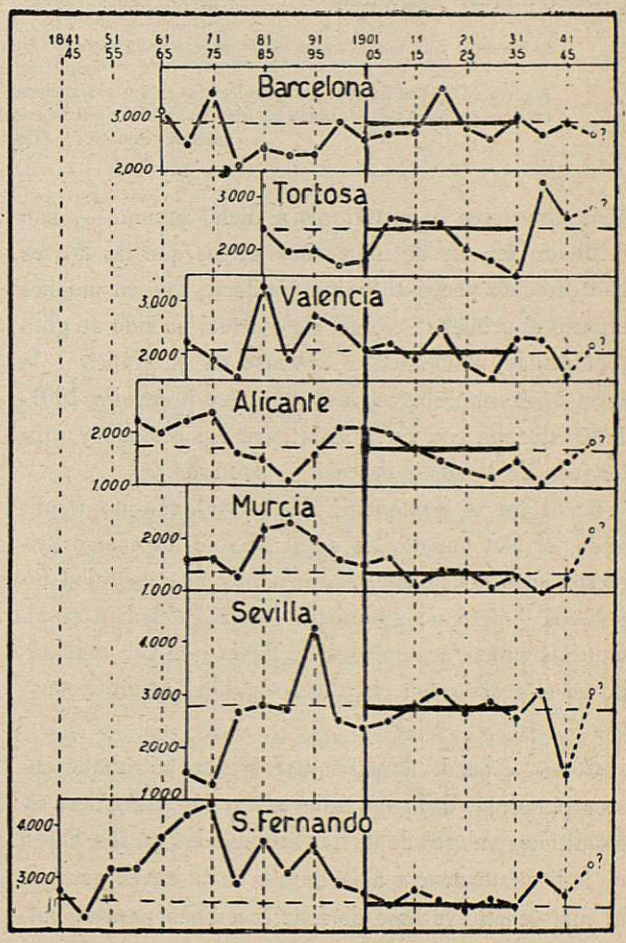
En Madrid, la curva parece mantenerse horizontal. En Huesca, San Sebastián y La Coruña, después de grandes alzas entre los años 1920 y 1940, parece existir tendencia a la baja, aunque en La Coruña vuelve a nueva alza.

5.ª Los promedios que, por convenio internacional, se han tomado siempre basados en los datos de 1901 a 1930 —para que esos promedios sirvan de término de referencia o comparación con los datos de otros

GRÁFICO I



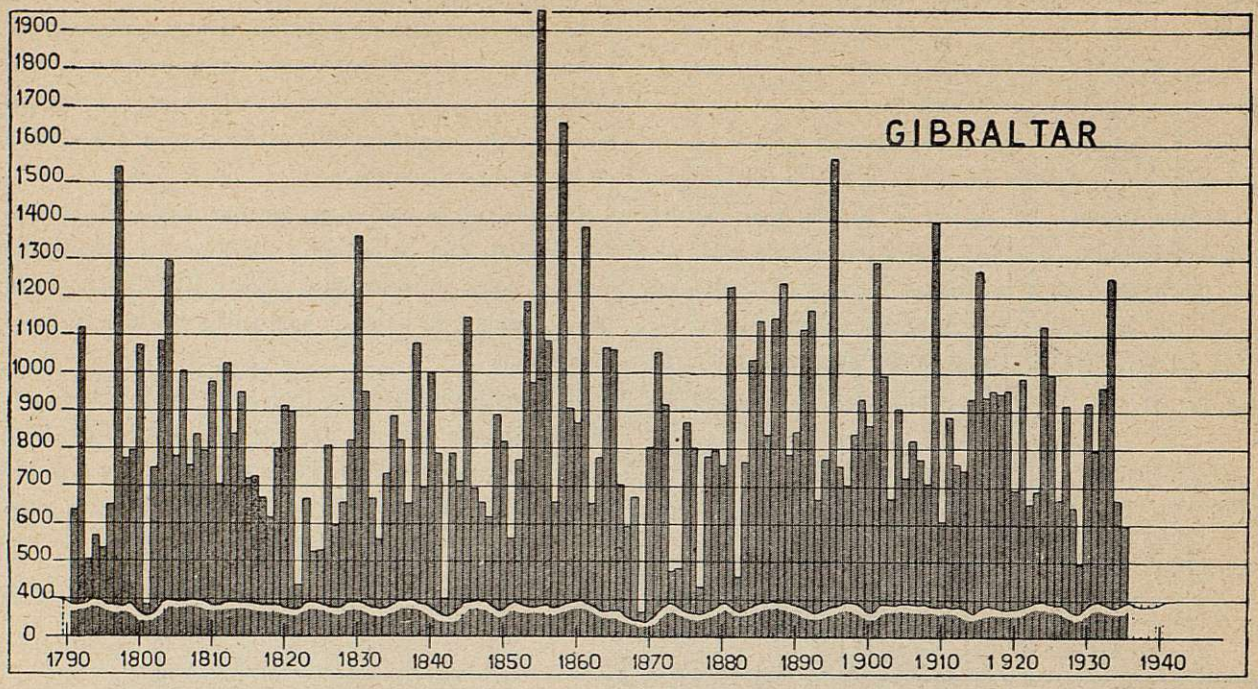
Lluvias por quinquenios (en mm.).



Lluvias por quinquenios (en mm.)

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

GRÁFICO II



El primitivo pluviómetro con el que se empezó a observar en 1791 se hallaba situado a 16,62 m. sobre el nivel del mar, en la falda occidental del peñón.
A partir de 1874 se simultanearon las lecturas en dos pluviómetros: uno situado junto al suelo y otro a 25 pies de altura. Los datos de 1874 fueron interpolados usando las lecturas hechas con el superior, el cual en las observaciones de 1866 a 1873 había dado lecturas inferiores en un 10 % a las del colocado junto al suelo.

años anteriores o posteriores a dicho período—, han resultado ser los de unos años en los que las lluvias han ofrecido pocos altibajos. Es decir, que en muchos lugares el primer tercio del siglo actual ha sido de gran regularidad pluviométrica. (Véase en el gráfico 1 la recta horizontal correspondiente a ese promedio 1901-1930, trazada con línea llena para ese período y prolongada de trazos a derecha e izquierda.)

6.ª Para el quinquenio 1946-1950 aún no terminado, se han tomado los datos de sólo los cuatro primeros años del mismo, añadiéndoles una cantidad hipotética —pero no optimista— para 1950, han resultado las sumas acumuladas de lluvia que van marcando en el gráfico con circulitos seguidos de interrogantes.

Como se puede apreciar claramente, y, aunque parece paradoja, dada las últimas sequías padecidas, estos últimos valores de lluvias acumuladas no son bajos, ni indican tendencia a la sequía en la curva general, lo cual constituye base de feliz esperanza para el porvenir.

Los datos de Gibraltar son utilísimos en este estudio de variabilidad de lluvias sobre nuestra península, ya que tienen más de siglo y medio de extensión, y aunque no disponemos todavía de los últimos años, nos dicen lo siguiente:

1.ª La variabilidad de las lluvias en esa plaza es muy grande. Ha habido años espantosamente secos, tales como 1801, 1821, 1842, 1869, 1882. Parece descubrirse en esa serie, si bien, de modo muy poco aproximado una periodicidad de unos veinte años. Período que, aunque sin muy exagerados caracteres, se prologa en los años 1903, 1922, y, quizá, en 1945.

2.ª Sequías como la presente, es decir, períodos de años muy desprovistos de lluvia los ha habido en Gibraltar en el siglo y medio último. Así, fué en general seco el período 1830 al 1850. Entonces empezó otro de lluvias copiosísimas, las más grandes de toda la serie.

3.ª No se observa en la serie total ninguna marcada tendencia, ni al alza ni a la baja.

Pasando ahora a analizar la serie de Lisboa, más

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

corta que la anterior, sólo hay que notar en ella un período de relativa sequía de 1919 a 1935. En cambio, aparece, como en la mayor parte de los lugares de España, un período final del siglo pasado con lluvias muy copiosas.

Como consecuencia general de todo lo expuesto puede decirse que, tras una serie de años, que son los del último tercio del siglo XIX o los primeros del XX, en que los hubo de abundantes precipitaciones atmosféricas, ha venido un trentenio de relativa homogeneidad en ellas, sin grandes oscilaciones. A este trentenio ha seguido otro en que nuevamente se presentan grandes alternativas, tales como las de las grandes lluvias de 1936 y las grandes sequías de 1945 y 1949.

Pero de la sola contemplación de los anteriores gráficos no se pueden deducir consecuencias que tengan sólida base para lanzar una predicción digna de absoluto crédito. Sólo nos es dado emitir algunas fundadas esperanzas.

Falta ahora presentar una estadística que nos dé, para cada una de las series pluviométricas estudiadas, los grupos de años en los que la lluvia ha sido inferior a ciertas cantidades, con el fin de deducir si estos desastrosos grupos han sido frecuentes. Para ello, tomemos como lluvia mínima anual que deben alcanzar cada una de las poblaciones, la que resulta de restar del valor de la media aritmética del período 1881 y 1948 sus respectivas desviaciones típicas, y notemos cuáles han sido los grupos *seguidos* de años en los que las lluvias totales del año han sido respectivamente inferiores a 608 mm. en La Coruña, a 1.053 en San Sebastián, a 288 en Valladolid, a 372 en Huesca, a 424 en Barcelona, a 350 en Badajoz, a 340 en Madrid, a 194 en Murcia, a 197 en Alicante y 421 en San Fernando. Hecho así el recuento, obtenemos lo siguiente:

En La Coruña no ha habido más que un grupo de tres años y otro de dos, en los que haya ocurrido tal calamidad.

En San Sebastián, sólo un grupo de dos años.

En Valladolid, dos grupos de tres años y tres de dos.

En Barcelona, dos grupos de dos años.

En Madrid, dos grupos de tres años.

En Murcia, un grupo de dos años.

En Alicante, un grupo de cuatro años y otro de dos.

En San Fernando, sólo uno de dos años.

De esta estadística se deduce que el mayor grupo de años seguidos de escasa lluvia ha sido de cuatro años, y eso, en un solo sitio: San Fernando. Lo cual da esperanzas de que pasada la actual crisis, no se repetirá nuevamente en los años próximos venideros.

Conviene añadir, finalmente, algunas breves notas acerca de las teorías que se han dado para explicar la

CUADRO II

NUMEROS RELATIVOS DE MANCHAS SOLARES

Años	Números	Años	Números	Años	Números	Años	Números
1750	83,4 Máx.	1760	62,9	1770	100,8	1780	84,8
1751	47,7	1761	85,9 Máx.	1771	81.6	1781	68,1
1752	47,8	1762	61,2	1772	66,5	1782	38,5
1753	30,7	1763	45,1	1773	34,8	1783	22,8
1754	12,2	1764	36,4	1774	30,6	1784	10,2 Mín.
1755	9,6 Mín.	1765	20,9	1775	7,0 Mín.	1785	24,1
1756	10,2	1766	11,4 Mín.	1776	19,8	1786	82,9
1757	32,4	1767	37,8	1777	92,5	1787	132,0 Máx.
1758	47,6	1768	69,8	1778	154,4 Máx.	1788	130,9
1759	54,0	1769	106,1 Máx.	1779	125,9	1789	118,1
1790	89,9	1830	71,0 Máx.	1870	139,1 Máx.	1910	18,6
1791	66,6	1831	47,8	1871	111,2	1911	5,7
1792	60,0	1832	27,5	1872	101,7	1912	3,6
1793	46,9	1833	8,5 Mín	1873	66,3	1913	1,4 Mín
1794	41,0	1834	13,2	1874	44,7	1914	9,6
1795	21,3	1835	56,9	1875	17,1	1915	47,4
1796	16,0	1836	121,5	1876	11,3	1916	57,1
1797	6,4	1837	138,3 Máx.	1877	12,2	1917	103,9 Máx
1798	4,1 Mín.	1838	103,2	1878	3,4 Mín.	1918	80,6
1799	6,8	1839	85,8	1879	6,0	1919	63,6
1800	14,5	1840	63,2	1880	32,3	1920	37,7
1801	34,0	1841	36,8	1881	54,3	1921	26,1
1802	45,0	1842	24,2	1882	59,7	1922	14,2
1803	43,1	1843	10,7 Mín	1883	63,7 Máx	1923	5,8 Mín.
1804	47,5 Máx	1844	15,0	1884	63,5	1924	16,7
1805	42,2	1845	40,1	1885	52,2	1925	44,3
1806	21,1	1846	61,5	1886	25,4	1926	63,9
1807	10,1	1847	98,5	1887	13,1	1927	69,0
1808	8,1	1848	124,3 Máx.	1888	6,8	1928	77,8 Máx.
1809	2,5	1849	95,9	1889	6,3 Mín	1929	65,0
1810	0,0 Mín.	1850	66,5	1890	7,1	1930	35,7
1811	1,4	1851	64,5	1891	35,6	1931	21,2
1812	5,0	1852	54,2	1892	73,0	1932	11,1
1813	12,2	1853	39,0	1893	84,9 Máx	1933	5,6 Mín
1814	13,9	1854	20,6	1894	78,0	1934	8,7
1815	35,4	1855	6,7	1895	64,0	1935	36,0
1816	45,8 Máx.	1856	4,3 Mín	1896	41,8	1936	79,7
1817	41,1	1857	22,8	1897	26,2	1937	114,4 Máx.
1818	30,4	1858	54,8	1898	26,7	1938	109,5
1819	23,9	1859	93,8	1899	12,1	1939	90,4
1820	15,7	1860	95,7 Máx	1900	9,5	1940	67,5
1821	6,6	1861	77,2	1901	2,7 Mín	1941	49,1
1822	4,0	1862	59,1	1902	5,0	1942	30,6
1823	1,8 Mín	1863	44,0	1903	24,4	1943	15,2
1824	8,5	1864	47,0	1904	42,0	1944	9,6 Mín.
1825	16,6	1865	30,5	1905	63,5 Máx	1945	33,1
1826	36,3	1866	16,3	1906	53,8	1946	92,4
1827	49,7	1867	7,3	1907	62,0	1947	151,5 Máx.
1828	62,5	1868	37,3	1908	48,5	1948	Disminuyen lentamente.
1829	67,0	1869	73,9	1909	43,9	1949	

Como complemento de este cuadro hay que añadir que, aunque no hay estadísticas detalladas anteriores a 1750, se sabe que los máximos y los mínimos desde 1610 (en que se empezaron a observar las manchas solares) ocurrieron en los siguientes años (y décimas de año):

Mínimos de manchas: 1610, 8; 1619, 0; 1634, 0; 1645, 0; 1655, 0; 1666, 0; 1679, 5; 1689, 5; 1698, 9; 1712, 0; 1723, 5; 1734, 0;

Máximos de manchas: 1615, 5; 1626, 0; 1639, 5; 1649, 0; 1660, 0; 1675, 0; 1685, 0; 1693, 0 1705, 5; 1718, 2; 1727, 5; 1738, 7.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

sequía que a España —y a gran parte de Europa— ha afectado en estos últimos años.

Ante todo, como causa inmediata de ella se ha encontrado que, con una persistencia no registrada desde hacía muchos años, ha dominado sobre el centro del Atlántico Norte, entre las islas Azores y Gran Bretaña, y extendiéndose desde las costas de Norteamérica hasta las de Europa y aún penetrando en ella, una gran área de exceso de presión atmosférica, la cual ha impedido que llegasen a nuestras latitudes las borrascas que se formaban por Groenlandia e Islandia y que venían hacia nosotros.

Esa es, como decimos, la causa inmediata, la que está perfectamente a la vista. Pero, ¿a qué obedece, a su vez, esa causa?

De los estudios glaciológicos realizados en los últimos años puede deducirse que hay un retraimiento de los hielos polares y, en general, de todos los heleros de las cordilleras europeas. Parece ser que en el siglo XVI comenzó una glaciación que fué cubriendo poco a poco Europa y que tuvo su máxima extensión a mediados del siglo XVIII. Desde entonces, ha ido contrayéndose hasta llegar a la situación actual de pobreza de hielo en el casquete polar boreal y en las grandes cordilleras, así como de desecación de los mares interiores, tales como el Caspio; acompañando —o produciendo estos fenómenos— un avance de los vientos tropicales hacia las altas latitudes. Averiguar si ahora se registra un fenómeno análogo a éste en el casquete polar Sur, en la Antártica, es una de las cosas que tratan de estudiar las recientes expediciones a ese continente helado, especialmente la que en el barco noruego «Norsel» va a la tierra de la Reina Maud, pues en ella se ha observado que existen zonas desprovistas de la capa de nieve casi permanente en aquel helado continente.

Todavía se trata de penetrar más hondo en la causa que, a su vez, haya producido esa glaciación, y se quiere descubrir en la variación de la actividad solar, variación manifestada aproximadamente en el número de sus manchas. Registro de ellas lo hay desde 1610, pero incompleto. Desde 1750 hay ya una serie calculada de ellas, o mejor dicho, de los números relativos de Wolf-Wolfer (Véase cuadro núm. 2).

Según esa estadística de manchas solares, en 1778 se pasó por un máximo de los máximos —que, como es sabido, se presentan cada once años, aproximadamente—, y ahora, en 1947, se ha vuelto a pasar por otro máximo entre los máximos, sólo comparable en intensidad con el citado del siglo XVIII.

Como ha coincidido este último máximo en 1947 con los trastornos que en estos años se vienen experimentando en el clima, la mente se inclina —y con mucho fundamento— a pensar que él ha sido el causante de esas perturbaciones. Y que, por consiguiente, al alejarnos de él iremos volviendo a la normalidad deseada.

De todo lo expuesto deducidos estas

CONCLUSIONES

1.ª La tendencia a la sequía que en una serie de poblaciones de España (véanse los gráficos) se iba manifestando desde hace mucho tiempo parece haber llegado a su punto más bajo.

2.ª El haber pasado por una serie de años si no seguidos sí sumamente próximos de sequía —los de 1944, 1945, 1948 y 1949— y no haberse registrado períodos tan largos años atrás, inclina a creer que el actual no se prolongará más.

3.ª El haber pasado ya del máximo de los máximos de manchas solares registrado en 1947, da fundamento a la creencia de que, al ir cesando lo que parece ser la causa de la sequía, irán viniendo a registrarse años normales de lluvia.

4.ª La marcada frecuencia con que el presente mes de mayo han venido hasta nuestra Península borrascas del Atlántico es un indicio que, unido al de la constante llegada a nuestras latitudes de masas de aire polar, permite sospechar que la tendencia general de la atmósfera ha cambiado de signo.

5.ª Creemos, en resumen final, que ya está terminada la gran sequía que tan desdichadamente ha afectado a España y a gran parte de Europa y del Norte de África durante los años 1944-45 y 1948-49.

Madrid, mayo 1950.

Después de terminada la exposición de este trabajo, D. José Abollado, Ingeniero de Caminos, presenta a la Mesa la siguiente comunicación:

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

«Uno de los rasgos más destacados de los trabajos presentados al II Congreso Nacional de Ingeniería y clasificados en la Sección Subsuelo y Aguas, es la justificada preocupación por obtener el mayor rendimiento del agua que nos envía el cielo sobre la extensión de nuestro suelo patrio, tratando de compensar la notoria irregularidad de las aportaciones con embalses y almacenamientos que, guardando en épocas abundantes, entreguen sus reservas en las escasas.

Abundando en este orden de ideas, el afán de complementar las obras hidráulicas que recogen las aguas superficiales para luego devolverlas con arreglo al régimen de explotación más conveniente, si las apremiantes necesidades del momento no obligan a adoptar un desembalse excesivo que perjudica a fecha más remota, se han presentado trabajos que estudian la posibilidad teórica de cuencas interiores de grandes dimensiones y profundidad, en las que es posible una alimentación por los bordes y, se supone, un almacenamiento importante en el fondo, del que habrían de salir mediante sondeos de longitud respetable.

Es evidente que la viabilidad práctica de tales embalses queda subordinada al buen o mal éxito de esos sondeos, y también a la surgencia de esas aguas, ya que, si se piensa en la necesidad de extraerlas por medios mecánicos o de otro tipo, representan un consumo de energía muy digno de tenerse en cuenta, cuando las necesidades de ésta en otros destinos es apremiante. Por otra parte, es evidente que la zona en la que se pueden encontrar esas aguas no es de profundidad indefinida, ya que solamente por el gradiente geotérmico 1.000 metros de profundidad representan 30°, y que la fisuración y permeabilidad de las rocas disminuye en la profundidad, hasta el punto de que sólo puede hablarse de porosidad, y con orificios de dimensiones más reducidas en la circulación del agua, intervendrá siempre como fuerza aceleratriz la gravedad, pero no deben olvidarse la capilaridad y las pérdidas de carga que la pequeñez de tales conductos origina. Todo ello suponiendo una uniformidad en espesores y características de los estratos con la profundidad análogos a los que se observen en superficie, ya que la presencia de fallas y roturas siempre es probable sobre todo en país de tectónica tan atormentada como el nuestro y un fenómeno que el sondeo de Alcalá de Henares hizo patente, cual es la subsidencia de los fondos de sedimentación activa que, por isostasia, se hunden al compás de aquélla respecto a los bordes de la cuenca, más ligeros cada vez.

Es evidente que, teniendo en cuenta estos factores, la investigación de cuencas acuíferas profundas siempre debe hacerse para levantar todas las dudas y no desperdiciar ninguna de las posibilidades de aprovechamiento integral de nuestras riquezas. Ahora bien, dicha investigación es delicada y representa una inversión importante que no está exenta de fracasos, los que, sin embargo, no deben desanimar en la ejecución de todos los estudios posibles, entre los que incluímos, desde luego, el de las aportaciones y aliviaderos de la cuenca en estudio, ya que si la aportación ha existido desde los tiempos geológicos en que el relieve fuera el actual, cuando no han rebosado ni producido laguna o encharcamientos progresivos es que por algún lado y algún sitio sale el sobrante.

En los casos de proximidad al mar éste puede ser una salida clara, si bien la diferencia de densidades de las aguas debe aconsejar un estudio detenido del contacto. En general, puede afirmarse que, establecido el régimen permanente, el agua que entra es la que sale y el almacenamiento sólo queda en paralelo, por decirlo así, de la circulación.

Claro está que puede ocurrir que sea interesante utilizar las aguas en lugar distinto de su afloramiento normal, pero siempre pensando en la necesidad de substituir o indemnizar los actuales aprovechamientos.

La utilización de un embalse subterráneo, agotándolo, puede tener las desagradables consecuencias que con los superficiales, producen restricciones y cortes en suministros de abastecimientos y de energía, a las que ya hemos aludido al principio de estas líneas.

Tanto de aquéllas como de ésta se deduce que tan importante como un embalse es su régimen de explotación, y que gran parte de su rendimiento debe atribuirse a éste.

Hay otra posibilidad de utilización de los embalses subterráneos que en ningún caso requiere consumo de energía, antes bien, puede proporcionarla, y cuyo desagüe es, por decirlo así, automático en el momento que interese. No nos referimos, aunque tenga estas características, a los que utiliza la Naturaleza y que impiden el agotamiento de los ríos en épocas de sequía; los que ahora vamos a estudiar no requieren más estudios o labores que los necesarios para la implantación de un embalse superficial. Nos referimos a la presencia de rocas permeables en los vasos de los pantanos, sin que afecten a sus cerradas, y aún afectando a éstas en el caso de que la misión reguladora se limite a la corrección de avenidas.

Dichas rocas permeables, que pueden describirse gráficamente como una esponja en un vaso de agua, estando éste formado por las impermeables de la cerrada, son posibles en muchos sitios, y aun es probable que se estén utilizando inconscientemente en algunos, pues no es raro escuchar de labios de ingenieros encargados de la explotación de pantanos que se extrañan de la lentitud con que baja el nivel en algunos a pesar del desagüe a que están sometidos, calculando, claro está, a base del volumen geométrico visible o de aire, si se permite emplear esta expresión.

Como deseamos dar datos concretos y no mantenernos en toda esta nota en la región de la teoría, vamos

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

a dar un ejemplo de embalses de este tipo, y en cuyo estudio geológico y de reconocimientos y sondeos hemos intervenido.

Nos referimos a la batería, permítasenos esta expresión, de pantanos que la Confederación Hidrográfica del Duero construye o proyecta en la zona alta de su afluente principal el Esla, en toda la vertiente leonesa de la cordillera Cantábrica.

El estudio detenido del mapa geológico de esta región, en el que la sucesión de los terrenos paleozoicos se hace por bandas transversales a los ríos, que cortan casi normalmente los estratos, bajando del Carbonífero al Siluriano y Cambriano, hace posible una sucesión de cerradas en cuarcita con vasos y, lo que es más importante, divisorias, en caliza que dan un almacenamiento dentro de las cotas de embalse importantísimas. Claro es que tan importante como la continuidad de las calizas, es la de las cuarcitas a través de las divisorias.

Comienza esa batería —deliberadamente no empleamos la palabra serie para realzar la importancia de su ubicación respectiva— con el pantano de Barrios de Luna, en el río de este nombre, con cerrada en cuarcitas Ordovicenses y vaso con calizas devónicas y cámbricas. Hacia la cola comienza el Dinantiense con la caliza de montaña. Es para nosotros evidente que la capacidad real de este pantano es mucho mayor que la cubicada sobre las curvas de nivel del plano. Sobre éste, la superficie ocupada por esas calizas será de una tercera parte y en todas ellas existen fuentes, cuevas y fenómenos de disolución. No queremos cifrar la posibilidad de huecos porque un estudio detenido del desagüe del embalse en su próxima explotación dará mejor una indicación de ellos y preferimos esperar a esa puesta en carga mejor que hacer hipótesis. Desde luego se ha estudiado la marcha de las cuarcitas del cierre y se ha demostrado que continúan por ambos lados hasta cotas superiores a la del embalse.

El cauce siguiente en la dirección Oeste-Este es el Bernesga, donde no se proyecta embalse alguno por las limitaciones que imponen ferrocarril y carretera, pero en el que se encuentra a continuación el Torío; también se proyecta otra de características análogas, cerrada en devónico superior (cuarcitas) y vaso con calizas carboníferas y devónicas. En este caso ha sido posible seguir la corrida de éstas hacia el río inmediato por el Este al Curueño. Este afloramiento ha limitado la altura del embalse que se proyecta para no dar posibilidad de salida a este río, en tanto que no se construya un embalse en él, ya que construído con cierre en las mismas cuarcitas devónicas, funcionarán ambos pantanos en paralelo y utilizando la capacidad de almacenamiento de la divisoria aprovechada.

En el río Porma que sigue a continuación en el mismo rumbo, se ha estudiado otro pantano después de varios emplazamientos. Cerrada en cuarcita Devónica y vaso en calizas de este terreno y Carboníferas. Seguida cuidadosamente la corrida de rocas silíceas por la divisoria, en varios reconocimientos se ha podido comprobar la salida al Curueño a cotas más altas que la del embalse, con lo que la aportación subterránea de éste será al Porma.

Finalmente, en el río Esla estudia la Diputación de León otro embalse en Las Salas, cuya cerrada está en la misma cuarcita Devónica que la del Porma. También aquí se ha podido comprobar que están ambas presas en la misma corrida cuarcitosa, con lo que todas las calizas situadas en las cuencas altas de los ríos Esla, Porma y Curueño puede asegurarse dan sus aguas y sus reservas al sistema de ambos pantanos, cuya capacidad efectiva creemos es varias veces mayor que la geométrica visible.

Lo mismo podría asegurarse de las situadas en las cuencas altas de los ríos Torío y Curueño, si se hiciera un embalse en la cerrada del Devónico superior que aflora en este río. Este pantano, que por la escasa aportación superficial y pequeñez de casos aparentes no se ha proyectado, ha sido propuesto por la Asesoría Geológica de Obras Públicas y estamos seguros que después de los anteriormente descritos, los hechos demostrarán su imprescindible necesidad.

El cierre completo de todas las posibilidades hidrológicas de la ladera Sur leonesa de la cordillera Cantábrica queda subordinada a la posibilidad de un embalse en el Bernesga, y en este caso es más difícil de asegurar que los Poderes Públicos se decidan a su ejecución.»

Tras la lectura de la comunicación anterior, se levanta la sesión a las nueve de la noche para continuarla al día siguiente, a las doce horas, a fin de ordenar las conclusiones estudiadas que han de elevarse al Pleno del Congreso.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

GRUPO IV
SECCIÓN ÚNICA

ACTA DE LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 1 DE JUNIO DE 1950
(Continuación)

Conforme a lo acordado en la sesión precedente, la Mesa constituída por D. Primitivo Hernández Sampelayo, como Presidente, D. Ignacio Patac y D. Antonio Almela como Secretario, a la que se incorporaron los Sres. Ximénez Embún, Novo, Herrán, Del Águila, Becerril, Martínez Borque y Sánchez Robles, celebró una reunión previa a fin de preparar y coordinar los distintos acuerdos sobre las varias conclusiones deducidas de los trabajos presentados y ofrecerlas a la consideración del Pleno de la Asamblea que debía tener lugar según lo acordado el día siguiente 2 de junio.

Y después de un amplio cambio de impresiones que da lugar a la aprobación unánime de las conclusiones que van a someterse a la aprobación de la Asamblea y de acordar que en la Mesa fuese incluído el Sr. Herrán, se abre la sesión a las doce y cuarto, y el Sr. Becerril A. Miralles, D. Enrique, hace una interesante exposición sobre el tema "Una posible recurrencia de la precipitación", cuyo original, dice, no ha podido entregar en Secretaría General, y el Sr. Presidente expone a continuación que van a someterse a la aprobación de los reunidos los distintos acuerdos provisionales sobre los diferentes asuntos planteados en la Sección y que va a leernos el Sr. Herrán.

Realizado esto, se aprueban sin discusión las conclusiones de la Ponencia sobre "Problemas que plantea la sequía y medios para solucionarlos", que serán sometidos al Pleno, y en las que fueron recogidas las enmiendas admitidas.

La Mesa propone a su vez la aprobación de la Ponencia de D. Manuel Lorenzo Pardo, que en anteriores páginas se reproduce.

Se propone también la aprobación del trabajo de D. Pedro Novo, excepto en sus conclusiones, que se sustituyen por la siguiente general, redactada por el Sr. Murcia, y que dice:

"Se estima necesario reglamentar la vigente Ley de Aguas refundiendo en un solo texto legal las múltiples disposiciones dictadas sobre el particular e introduciendo en dicho Reglamento las adiciones que la práctica aconseje como más convenientes, por ejemplo, en lo que se relacione con el aprovechamiento de las aguas subterráneas".

Después hay una serie de Ponencias en las que algunos congresistas han formulado observaciones y que van unidas a los trabajos correspondientes. Estas observaciones la Mesa las considera como trabajos presentados.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

El Sr. Lorenzo Pardo propone un aplauso a la Mesa que ha hecho las conclusiones. Aquí, dice, no se ha hecho lo que en otros Congresos: clasificar previamente los asuntos; la clasificación ha resultado automáticamente del proceso de su examen y discusión, y la Mesa ha tenido el acierto de hacer esta clasificación, que es labor de gran trascendencia, por lo que merece el aplauso a la misma, que ruego de todos los presentes.

Con unas palabras del Presidente agradeciendo los plácemes recibidos, se levanta la sesión a las dos de la tarde.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

CONCLUSIONES DEL GRUPO CUARTO

«EXPLOTACIÓN DEL SUBSUELO Y AGUAS»

Las conclusiones deducidas de los trabajos que se publican en este Tomo V, estudiadas en la Sección Única del Grupo IV. – EXPLOTACIÓN DEL SUBSUELO Y AGUAS, *fueron coordenadas y dispuestas para su presentación al Pleno del Congreso, en reunión celebrada al efecto por la Mesa de aquella Sección y el Ponente General D. Miguel Gortari Errea.*

Estas conclusiones provisionales, impresas en las páginas 193 a 196 del Tomo I, se sometieron a examen y debate en las sesiones plenarias celebradas en los días 2 y 3 de junio de 1950, y fueron aprobadas con la redacción que se las da en las páginas 237 a 240 de dicho tomo.

FIN DEL TOMO V

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

INDICE

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

ÍNDICE DEL TOMO QUINTO

GRUPO IV.—EXPLOTACIÓN DEL SUBSUELO Y AGUAS

	Páginas
SECCIÓN ÚNICA.—Acta de la Sesión celebrada el día 29 de mayo de 1950	9
N.º 43.—Una nueva zona de bauxitas en la provincia de Lérida	9
N.º 46.—¿Nacionalización de las minas?	17
N.º 102.—El grafito en España y sus posibilidades	23
N.º 9.—Nuevo método de avance de galerías en roca	33
N.º 287.—Geofísica y radiactividad	43
N.º 133.—El titanio, metal del porvenir	53
N.º 146.—Industrialización de nuestros yacimientos de aluminio	69
N.º 238.—Los yacimientos de fosfatos sedimentarios del Sáhara español	89
N.º 99.—El magnesio, metal ligero español	95
Acta de la Sesión celebrada el día 30 de mayo de 1950	111
N.º 67.—Rescate del agua subterránea que se pierde submarinamente en las costas calizas de Levante	111
N.º 61.—Hidrología subterránea del campo de Cartagena	145
N.º 65.—El problema de la investigación y explotación del agua subterránea en España	153
N.º 297.—Embalses subterráneos	161
Acta de la Sesión celebrada el día 31 de mayo de 1950	165
N.º 104.—La minería del antimonio en España	165
PONENCIA.—Aprovechamiento e investigación de yacimientos mineros	173
N.º 178.—Investigación de margas bituminosas en Marruecos y su aplicación a la obtención de carburantes y fabricación de cementos	215
N.º 240.—Breve noticia sobre el oro de Angola	261
N.º 251.—Los criaderos de cinabrio arsenical en Asturias	273
N.º 258.—La economía del estaño y del wolfram en España. Contribución estadístico-económica de su pasado, presente y posibilidades futuras	277
N.º 282.—El grafito en la economía española	281
N.º 293.—Yacimientos españoles de estaño y wolfram	289
N.º 45.—Los sondeos artesianos, fuente de divisas	295
N.º 173.—Pluviotecnia	303
N.º 175.—Lluvia artificial	311
N.º 185.—Tensiones de filtración y constantes electrocapilares de los terrenos permeables. Aplicación al estudio del agua freática	339
N.º 187.—Lagos y zonas glaciáricas del NO. de España	345

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

Páginas

PONENCIA.—Problemas que plantea la sequía y medios para resolverlos 353
N.º 292.—*Hidrología peninsular* 359
N.º 51.—*Estudio de la cuenca hidráulica de Valencia* 373
N.º 291.—*Proyecto de ciertas modificaciones en la Ley de Aguas actual* 379
N.º 205.—*La investigación de los yacimientos de bauxita en la zona subpirenaica* ... 397
N.º 193.—*Sobre el establecimiento de las condiciones económicas necesarias para hacer posible la utilización de las bauxitas españolas y las industriales de óxido de aluminio y criolita artificial* 419
N.º 194.—*Enriquecimientos de minerales de bauxitas españoles y beneficio de las bauxitas blancas* 423
N.º 271.—*La variabilidad de las presiones atmosféricas sobre España* 429
Acta de la Sesión celebrada el día 1.º de junio de 1950 437
Conclusiones del Grupo IV 439

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

ERRATAS ADVERTIDAS

Dice:	Debe decir:	Página	Columna	Línea
del	—	9	—	7
Pascuau	Pasquau	16	—	14
exportación	importación	19	2.ª	36
y de	y su	50	2.ª	18
requiere	se requiere	57	2.ª	24
. Falta	, falta	75	2.ª	16
Al_2O_3 3	Al_2O_3	83	2.ª	12
cosas	como	163	2.ª	7
faices	facies	188	1.ª	23
IRIZA	INZA	215	—	6
sería	no sería	217	1.ª	43
La	A la	236	2.ª	27
La	En la	258	1.ª	1
40,00 . 10000	40,90 × 10500	258	1.ª	18
18,00 × 6600	13,8 × 6600	258	1.ª	20
20500	10500	258	1.ª	26
que los	que en los	277	2.ª	26
Urano	Uranio	282	2.ª	36
técnica	tectónica	292	1.ª	33
γ	P	340	2.ª	32
se metan	se sometan	382	1.ª	44
artículo	articulado	395	—	6
no	nos	395	—	28
$3SI_2O_2$	$3Si_2O_2$	423	2.ª	8

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO